

1-7993412



Energy, Mines and Resources Canada / Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology / Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

MRL 87-39 (OPJ) "F" e.1

MRL 87-39 (OPJ) 96-48 RW "F" e.1

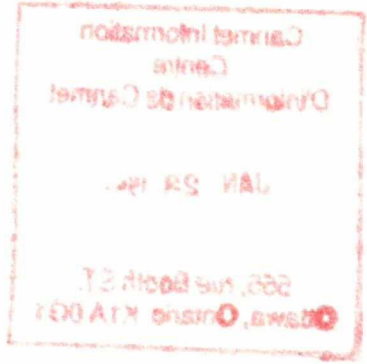
ÉLÉMENTS GÉOMÉCANIQUES DE RÉCUPÉRATION DE PILIERS DE SURFACE

M.C. Bétournay
 Laboratoire de Technologie Minière Canadienne

AVRIL 1987

Présentation, 3ième Colloque sur le Contrôle de Terrain, Association des Mines de Métaux du Québec, Val d'Or le 8 avril 1987. Inclusion dans le compte rendu du Colloque.

TOUS DROITS RÉSERVÉS DE LA COURONNE



LABORATOIRES DE RECHERCHES MINIÈRES
 RAPPORT DE DIVISION MRL 87-39 (OPJ)

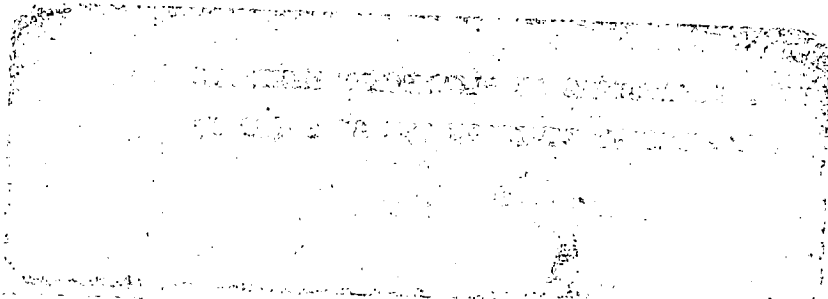
MOI QU-38 (0B)jre="0-1

1.9 "E" (E90) PC-118 JRM

Canmet Information
 Centre
 D'information de Canmet

 JAN 28 1997

 555, rue Booth ST.
 Ottawa, Ontario K1A 0G1



ÉLÉMENTS GÉOMÉCANIQUES DE RÉCUPÉRATION
DE PILIERS DE SURFACE

par

M.C. Bétournay*

RÉSUMÉ

L'industrie minière canadienne est familière avec la récupération complète de masse rocheuse/pilier de surface. On a déjà procédé à récupérer de tel piliers qu'ils soient au niveau de la surface ou au fond d'une fosse. La présentation touche aux raisons d'utilisation de géomécanique, en plus des grandes lignes reliées à la récupération de ces piliers: pré-investigations, application de modèles (géomécaniques et numériques) et comportement durant/après la récupération. Ces aspects sont appliqués aux ouvertures souterraines, murs de fosse et à la méthode de récupération par foudroyage en bloc.

Mots-clés: pilier de surface, récupération complète, éléments géomécaniques, investigations, ouverture souterraine, fosse, foudroyage en bloc, discontinuités, contrainte, instrumentation, modèles géomécaniques, modèles numériques, massif rocheux.

*Chercheur en sciences physiques, Laboratoire de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa.

GEOMECHANICAL FACTORS OF SURFACE
CROWN PILLAR RECOVERY

by

M.C. Bétournay*

ABSTRACT

The Canadian mining industry is familiar with the complete recovery of surface crown pillars/rock masses. Pillar removal has been made from surface and from the bottom of open pits. The presentation covers the reasons for the application of geomechanical factors, as well as the main topics related to the recovery of these pillars: pre-investigations, application of models (geomechanical and numerical) and behaviour during/after the recovery. These aspects are applied to underground openings, pit walls and the block caving method of recovery.

Key words: surface crown pillar, complete recovery, geomechanical factors, investigations, underground opening, open pit, block caving, discontinuities, stresses, instrumentation, geomechanical models, numerical models, rock mass.

*Physical scientist, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa.

INTRODUCTION

Les gisements canadiens sont particuliers du fait qu'ils s'étendent habituellement jusqu'en surface. Dans plusieurs de ces cas, les piliers de surface créés possèdent une teneur suffisamment élevée pour permettre leur récupération entière.

L'industrie minière canadienne n'en n'est pas à ses premières expériences dans la récupération de masse rocheuse/pilier de surface. Mentionnons tout d'abord la méthode de foudroyage utilisée à mainte reprise tel à la mine d'amiante Bell (Québec), East Sullivan (Québec) et Steep Rock (Ontario), puis les opérations pour récupérer spécifiquement un(des) pilier(s) de surface, qu'il soit au niveau de la surface, tel Fox (sautage sur le chantier ouvert) ou Thompson (fosse sur chantier remblayés) (Manitoba) ou au fond d'une fosse tel Kidd Creek (Ontario), ou Ruttan (Manitoba).

Cette présentation présentera un survol des aspects géomécaniques reliés à la récupération entière de piliers de surface: pré-investigations, application de modèles et comportement durant/après la récupération.

Des exemples tirés de plusieurs cas serviront à illustrer les grandes lignes de ces aspects, tel l'effet de la durée des ouvertures, l'effet de la méthode de minage sur le pilier, le processus et l'approche d'investigation.

PHILOSOPHIE D'UTILISATION DE GÉOMÉCANIQUE ET PROCÉDURES

Les trois aspects géomécaniques et leur séquence d'exécution sont présentés à la Figure 1. La simplicité de cette séquence permet d'être flexible aux divers scénarios miniers: foudroyage en bloc (Figure 2), récupération par fosse (Figure 3) ou à partir de la surface (Figure 4).

Les investigations à-priori se veulent d'établir les conditions existantes des terrains avant la récupération pour fin de comparaison pendant et après l'extraction et pour fournir les données requises des modèles géomécaniques et numériques voués à la prédiction du comportement des terrains. Ces prédictions

requièrent l'utilisation d'instrumentation voués à des tâches et des conditions bien précises.

Le but d'appliquer les considérations géomécaniques à la récupération de piliers de surface est de prendre avantage des conditions en place sans créer de problème(s) pouvant réduire substantiellement la qualité des terrains et affecter la sécurité des opérations. Il est important de se rappeler que la récupération affectera les opérations souterraines et les environs, tel les murs d'une fosse, et qu'après l'extraction, les opérations souterraines influenceront eux aussi les environs.

PRÉ-INVESTIGATIONS

Les investigations requises au premier plan de la récupération de piliers de surface seront présentés en trois parties: celles reliées aux éléments souterrains, aux éléments des environs telle une fosse et celles reliées à la méthode d'extraction par foudroyage en bloc. Cette méthode nécessite une considération plus étroite en ce qui attrait aux caractéristiques du massif.

Investigations Souterraines

Un programme d'investigations souterraines du massif contient les éléments suivant: caractéristiques du massif, propriétés des matériaux, action du champ de contraintes et comportement du massif.

Les méthodes de caractérisation du massif incluent les carottes de forages au diamant et les traverses de relevés sous terre. On y obtient les caractéristiques des discontinuités (orientation, espacement, longueur, intersections, rugosité, remplissage, etc.), leur effet sur la stabilité, de même que la délimitation de zones de qualité selon les méthodes empiriques NGI, CSIR, etc. Une campagne semblable complétée à la mine Thompson est présentée à la Figure 5 et 6, celle de la mine Bell est à la Figure 2. Dans le cas du premier, la qualité des massifs s'accorde avec les unités géologiques. Les orientations des discontinuités ne changent pas d'une unité à l'autre. Dans le cas du deuxième, le massif est très fracturé et de compétence variable.

Des essais pour obtenir les caractéristiques en place des matériaux doivent être faits pour évaluer la résistance et le module de déformation. Ceci est relativement facile pour la roche intacte, en laboratoire. La méthode empirique de Hoek (1) (utilisant les valeurs "m" et "s") basée sur les essais en laboratoire, fournit une résistance pour le massif. Des essais en place (dilatomètre, "borehole jacks", etc.) peuvent obtenir des valeurs de modules de déformation pour le massif (2). Par exemple, les valeurs obtenues peuvent correspondre aux groupes de qualité de massif, tel le cas de la mine Thompson, Figure 7. Il faut se souvenir que ces valeurs définissent des conditions intactes; toute rupture entraîne une réduction de qualité de massif de même que de propriétés de résistance et de déformation. Pour ce qui est du remblai, la résistance et module de déformation sont nécessaires. On peut obtenir une idée de la contrainte imposée au remblai peut être fait à l'aide d'un pénétromètre (3). Une fois les effets du poids du remblai soustraient des résultats, la valeur de transfert de charge entre les épontes et le remblai est obtenue. Une valeur basse, par exemple, indique un transfert de contrainte aux piliers plutôt qu'au remblai.

Les mesures de contraintes naturelles mènent à séparer, en profondeur, le chantier minier en niveau de valeurs et de facteurs horizontal sur vertical (σ_h/σ_v). Habituellement le bouclier canadien démontre des orientations de contrainte maximale horizontale (~est-ouest) et de contrainte minimale verticale (4). Le facteur horizontal/vertical est >3 en surface mais diminue à ~ 1 en profondeur, Figure 8, 9. Cependant la valeur de la contrainte à la surface est habituellement suffisamment basse pour faire primer l'effet de la structure, notamment le déplacement de blocs. L'effet de la masse, des contraintes, devient plus important en profondeur. En plus, on remarquera la direction des contraintes vis-à-vis la structure géologique (foliation, faille, etc.) et l'orientation du (des) pilier(s) de surface. Des mesures de contraintes induites autour des ouvertures, seront utiles à la modélisation.

La récupération du (des) pilier(s) de surface amènera certains changements; le plus important sera au niveau de la redistribution de la charge portée par le (les) pilier(s). L'effet de cette redistribution dépendra du comportement du massif sous les contraintes et minage actuels. Soulignons l'importance des informations recueillies auprès des mineurs et superviseurs sur ces conditions: surveillance de la qualité de terrains, instabilité de certains éléments de géologie structurale, fermeture de trous de forages, autres indications/mesures

de contraintes/convergences. Les conclusions qui pourraient découler de ces informations en attrait aux: niveaux de contrainte dans le(s) pilier(s) de surface, les autres piliers, rupture de massif localisé ou non (reliée à la gravité ou contrainte élevée), fermeture accélérée des ouvertures, etc.

En particulier, on peut observer l'effet de la méthode minière sur les épontes et les piliers. Une méthode qui permet un lapse considérable pour extraire un volume important, tel coupe et remblai, permettra une redistribution graduelle du champ de contraintes. La redistribution se fera à grande échéance. Donc le minage se fera dans une roche à faible contraintes.

La méthode d'abattage par longs ou grands trous, cependant, impose une concentration rapide aux abords de la surface retraitante. Dépendant des conditions du massif, ceci peut entraîner des ruptures progressives.

Il est important de savoir si cette action se concentrera dans le gisement, les épontes rapprochées ou tous les terrains. Les facteurs qui affecteront cette distribution sont: la compétence des unités géologiques et leurs dispositions. Comme exemple, on peut citer la situation de trois terrains: épontes éloignées, rapprochées et gisement. Si les épontes rapprochées peuvent se déformées sous l'action des contraintes, alors les deux autres terrains, s'il sont rigides, éviteront la concentration de contraintes, Figure 10. Une campagne de suivie d'ouverture avec de l'instrumentation bien placé pourra être utile dans ce sens.

INVESTIGATIONS DE LA FOSSE

Il faut considérer les effets de l'extraction du (des) pilier(s) de surface, des ouvertures souterraines et de la méthode de minage souterraine sur la stabilité d'une fosse surplombant l'ouverture(s) souterraine(s).

La stabilité de pente d'une fosse dépend habituellement de trois facteurs: discontinuités (orientateur, caractéristiques, étendues), pression d'eau phréatique et résistance de la roche. Une campagne de relevés de discontinuités et présence d'eau s'aquitera du premier stage d'étude et permettra de séparer les murs de la fosse en district de familles de joints, Figure 11, et de genres d'instabilités existantes, Figure 12. On obtient alors une idée préliminaire

des problèmes géomécaniques qui doivent être vérifiés pour identifier l'effet de l'extraction du (des) pilier(s) de surface et l'effet du minage souterrain, tel apperçu par modèles géomécaniques et numériques.

INVESTIGATIONS POUR LA MÉTHODE DE FOUDROYAGE EN BLOCS

Le but de ces investigations est de déterminer quelles sont les conditions qui peuvent favoriser ou initier le foudroyage du terrain. On verra aussi à identifier les éléments qui peuvent empêcher le massif rocheux à se disloquer en blocs de grandeurs raisonnables, et à perdre son état d'équilibre. Trois facteurs gouvernent la dislocation des blocs: les contraintes, les dispositions des discontinuités et la résistance du massif. Chaque site à sa combinaison particulière. On utilise diverses méthode empirique pour accorder des degrés de capacité à disloquer. Certaines sont des relations simples basées sur le RQD et la largeur des ouvertures. D'autres, tel la méthode empirique de classification de massif Laubscher, sont des méthodes reliant les trois facteurs. La mine d'amiante Bell utilise cette méthode dans ses plans miniers et pour estimer la surface requise pour initier la chute des blocs et d'évaluer leurs dimensions approximatives, en se basant principalement sur le pointage obtenu par la classification (Figure 2) (5).

Voici certain des éléments qui peuvent empêcher la dislocation: massif non-fracturé, zone de fracturation limitée.

APPLICATION DES MODÈLES

Basé sur les résultats des investigations, des modèles pour les ouvertures souterraines et pour la fosse peuvent être formulés.

Modèle Géomécanique

Le but des modèles géomécaniques est de diviser le massif d'exploitation en domaines de comportement géomécanique semblable. On poursuit des divisions successives basé sur plusieurs critères. Pour l'exploitation souterraine ceux-ci sont: propriétés des terrains, secteurs de contraintes naturelles, activité minière à de nouveaux ou autres sites, effet de la méthode minière

(soutènement, concentration de contraintes au front de faille) et l'âge des ouvertures. On place les critères en ordre d'importance, Figure 13. Pour la fosse, on adopte le secteur de contrainte près de la surface. A cause des basses valeurs appartenants à ce secteur, on prime sur les autres critères, tel la structure et résistance du massif. Donc, le modèle se divise simplement, Figure 14, sous les critères structure, résistance et éléments de contrôle. En se servant de l'analyse de stéréogramme de discontinuités de paire avec des essais sur les propriétés du roc de glissement sur des discontinuités et de l'effet de l'eau phréatique on pourra évaluer alors la possibilité de modes d'instabilités illustrés à la Figure 15. Un système de mesure absolue pour mesurer les déplacements de pentes pourra aider à identifier le mode de rupture et servira d'avertissement. Le niveau de la nappe phréatique obtenu par l'installation de plusieurs piezomètres, servira à établir la pression d'eau et son effet sur la stabilité des parois, des plans de faiblesses connus ou préconisés. Le résultat fournit des possibilités de problèmes majeures au niveau de la fosse, fosse et ouverture, fosse et ouverture remblayées, Figure 16.

Modèle Numérique

Le but de la modélisation numérique est de simuler le comportement (champs de contraintes, niveau de contraintes, déplacements) selon les conditions existantes: contraintes naturelles, propriétés et résistance du roc, éléments de faiblesses majeures, etc. C'est aussi le seul outil viable qui peut servir à prédire ces changements dans un milieu de géométrie complexe et d'utilisation de remblai minier.

Idéalement le modèle numérique pourra couvrir le comportement non-linéaire, cependant les coûts élevés associés à cette approche, spécialement pour une modélisation en 3-D, peuvent être prohibitifs pour certaines opérations minières. La géométrie des ouvertures souterraines et piliers de surface et leurs distributions vis-à-vis la fosse, sont habituellement trop complexes pour qu'une analyse en 2-D soit réaliste. Donc, une modélisation en 3-D en assurant un comportement linéaire-élastique est le minimum recommandée. Un modèle linéaire-élastique prédira des contraintes plus élevés et des déformations moins grandes qu'une modélisation non-linéaire.

A titre d'exemple voici des modèles utilisés pour simuler les effets de la récupération de piliers de surface. A Thompson on a utilisé le programme d'éléments finis Quad en 2-D pour simuler d'un coup la fosse, Figure 17, et d'un autre les excavations souterraines, tandis que le programme MBEM d'éléments frontières en 3-D modélisa les interactions à grande échelle (contraintes imposées aux piliers principaux, contraintes et déplacements dans l'éponte supérieure et déplacements dans la fosse) entre la fosse et les ouvertures souterraines, Figure 18. A Kidd Creek, on a utilisé un programme d'éléments finis en 2-D, le SAP2D, pour une évaluation de la stabilité de la fosse, fosse et ouverture souterraine et pilier de surface extrait (Figure 19) (6). En parafaisant plusieurs exécutions du modèle, on peut évaluer les zones de variation de comportement, l'effet du remblai, les zones critiques, etc. pour les divers stages d'extractions et des activités de la fosse et/ou souterraines; plus tard, on a utilisé le SAP-3D, éléments finis, pour examiner les mêmes conditions. A la mine Ruttan, on a appliqué le programme d'éléments frontière BITEM pour simuler le comportement de trois chantiers séparés de la fosse par trois piliers de surface, et la situation sans piliers de surface (7), Figure 20. On n'a pas utilisé de modélisation à la mine Fox (8) ni à la mine Bell amiante (avant 1984) (5).

A date il n'y a pas eu de modélisation de fait sous une extraction par foudroyage. Il faut tout de même souligner l'intention actuelle de la mine Selbaie à se servir de cette méthode pour récupérer leurs piliers de surface, sans enlever le mort terrain.

ÉVALUATION DU COMPORTEMENT ET DES MODELES

Sans entrer dans tous les détails d'une campagne d'instrumentations d'ouvertures souterraines et d'une fosse, mentionnons qu'il est prudent et recommandé de suivre le comportement des ouvertures avant, pour la durée, et après la récupération du (des) pilier(s) de surface.

Citons quelques instruments qui ont déjà été utilisés avec succès dans des circonstances semblables. Pour la fosse, un système de surveillance à grande distance ("Géodimètre") permet une suivie des plus petits mouvements (> 1 mm) sans nécessiter l'accès aux pentes et avec des lignes de visions restreintes, Figure 21. Les mesures de déplacements souterrains prennent plusieurs formes,

extensomètres pour les parois (utile pour mesurer plusieurs points de références), convergence des parois mesurées par ruban ou tiges télescopiques. Avec suffisamment d'instruments placés aux endroits susceptibles, on obtient des déplacements d'épontes, piliers, etc. avec la séquence d'extraction Figures 22-24. On peut alors identifier les causes de mouvements majeurs avec ou sans problèmes de terrains.

Le résultat perceptible d'une augmentation de contraintes, passé un niveau maximal, sera la détérioration des conditions de terrains à cause de rupture de roche intacte et déformation de matériel déjà en rupture. Les niveaux auxquels certaines conditions, tel dégradation de piliers, se comparent à des niveaux prédits par l'ordinateur servent de calibration de modèle.

Une comparaison des déplacements mesurés et de ceux prédit par un modèle numérique existe dans le cas de la mine Kidd Creek (6). Dans ce cas, les valeurs mesurées tombent entre celles prédit par la modélisation en 2-D et 3-D. Le modèle 2-D avait prédit des déplacements plus élevés que le 3-D. La direction réelle des déplacements était plus rapprochée du modèle en 2-D. Donc les déplacements suivaient un comportement élastique; des déplacements de secteurs/morceaux de roches individuels n'étaient pas évidents.

Quand à la mine Ruttan, les piliers se comportent tel que prédit par le modèle BITEM: les contraintes tractives force une fracturation et dégradation des piliers entre les chantiers, là où elles étaient indiquées (9).

RÉFÉRENCES

1. Hoek, E. "Strength of jointed rock masses"; Géotechnique; 33 #3; pp. 187-223; 1983.
2. Bétournay, M.C. "A design process for surface crown pillars of hard rock mines"; C.I.M. 88th Annual General Meeting, Montreal; paper 146; 1986.
3. "Rock mechanics study, Thompson open pit"; Steffen Robertson & Kirsten Report for INCO; 55p.; 1984.
4. Herget, G. "Regional stresses in the Canadian Shield"; CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; Division Report MRP/MRL 80-8(OP); 1980.
5. "Piliers de surface"; Rapport du contrat #26sq. 23440-3-9005; Le Groupe Conseil Roche pour CANMET; 1984;
6. Hedley, D.G.F., Herget, G., Miles, P. and Yu, Y.S. "Case history of CANMET's Rock mechanics at the Kidd Creek Mine"; CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; Division Report MRP/MRL 79-47(J); 1979.
7. "Ground stability evaluation with particular reference to an echelon lensed orebody"; Contract Report 14sq23440-4-9147-1; Sherritt Gordon Mines Limited for CANMET; 1987.
8. Kelly, J.G., Magaji, I.D. and Rispin, M.P. "Surface crown pillar blast at Sherritt's Fox Mine"; C.I.M. 88th Annual General Meeting, Montreal; paper 175; 1986.
9. Pakalnis, R. "Communication personnelle; avril 1987.
10. Udd, J. and Bétournay, M.C. "Slope stability in the Trenton limestone of a Montreal area quarry"; C.I.M. Bulletin; 76 #856; pp. 72-78; 1983.

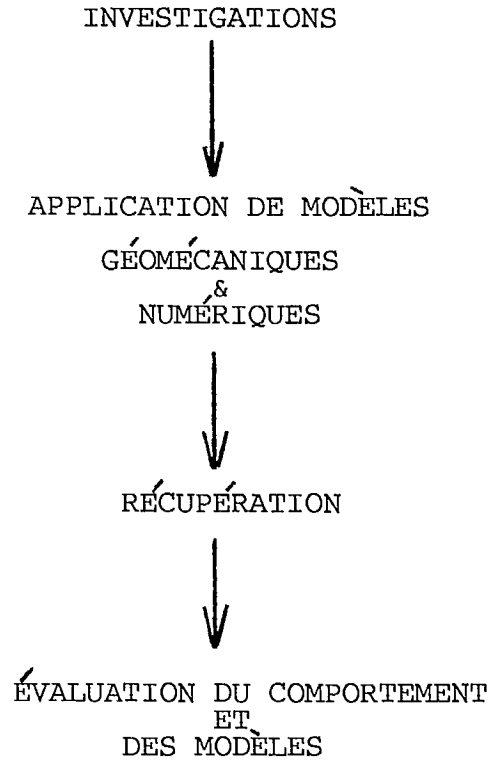


Figure 1. Aspects géomécaniques reliés à la récupération de piliers de surface.

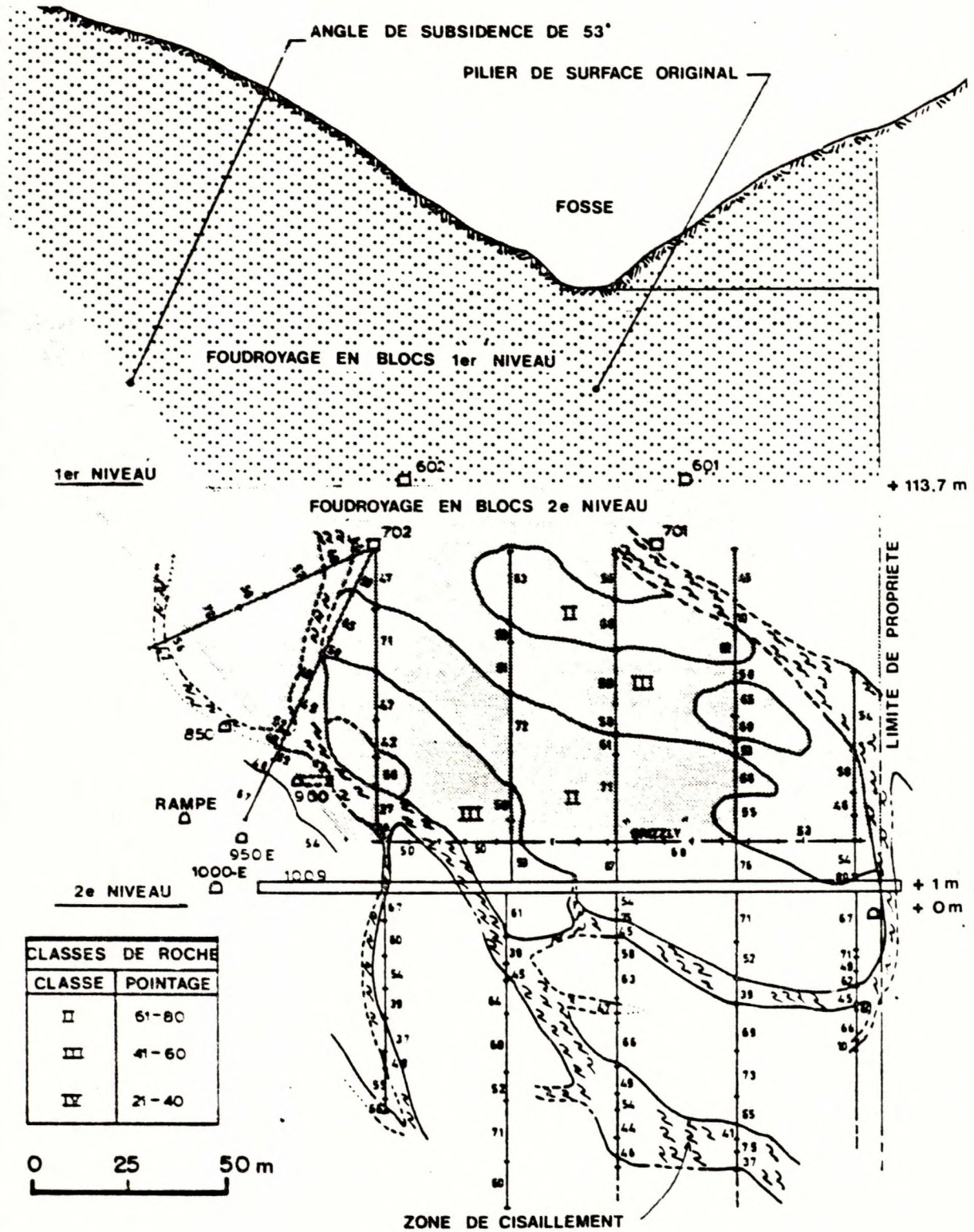


Figure 2. Coupe transversale d'un gisement démontrant les secteurs de qualité de massif. Mine d'amiante Bell (5).

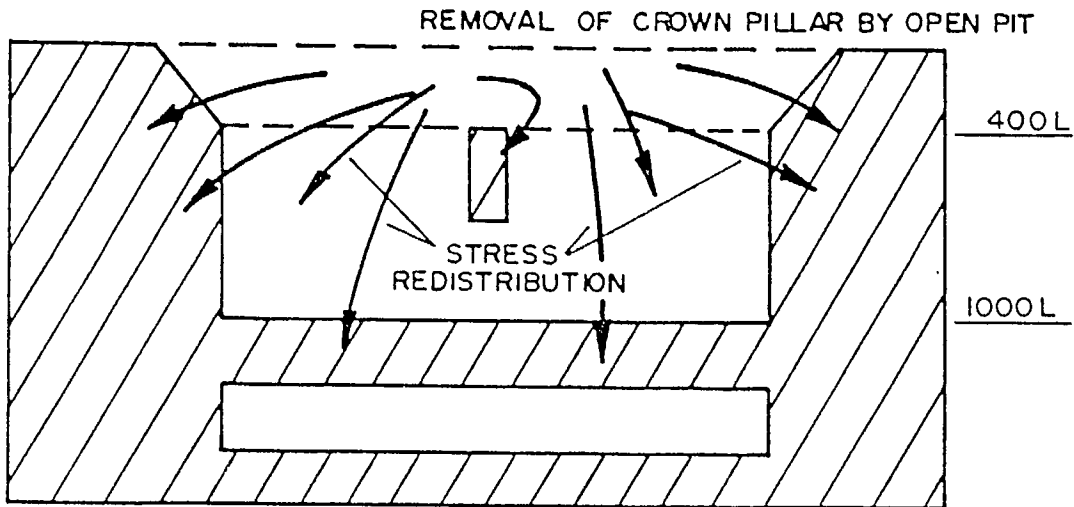
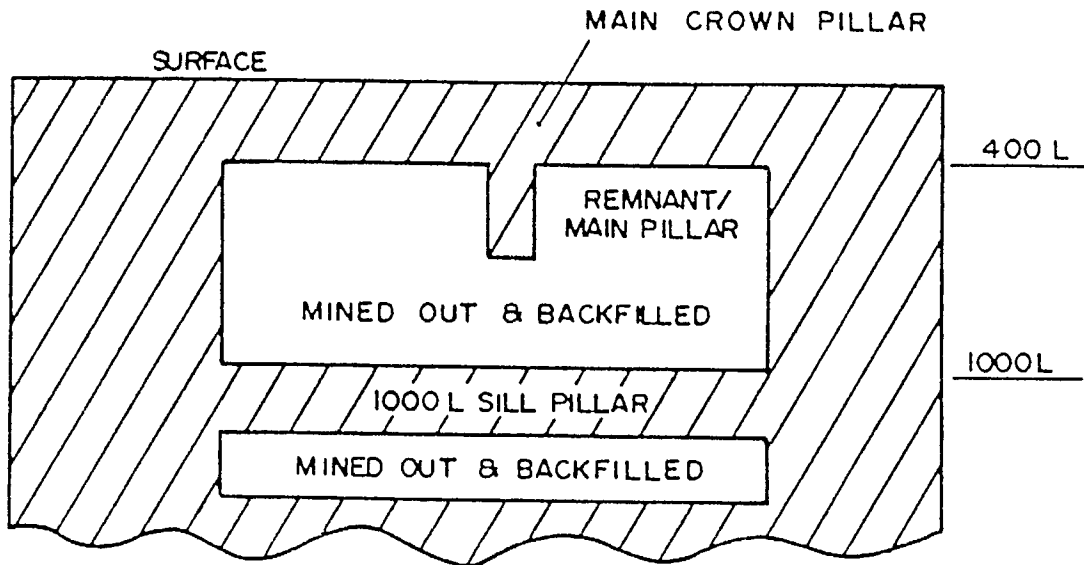


Figure 3. Récupération du pilier de surface de la mine Thompson par fosse sur chantier souterrain remblayé (3).

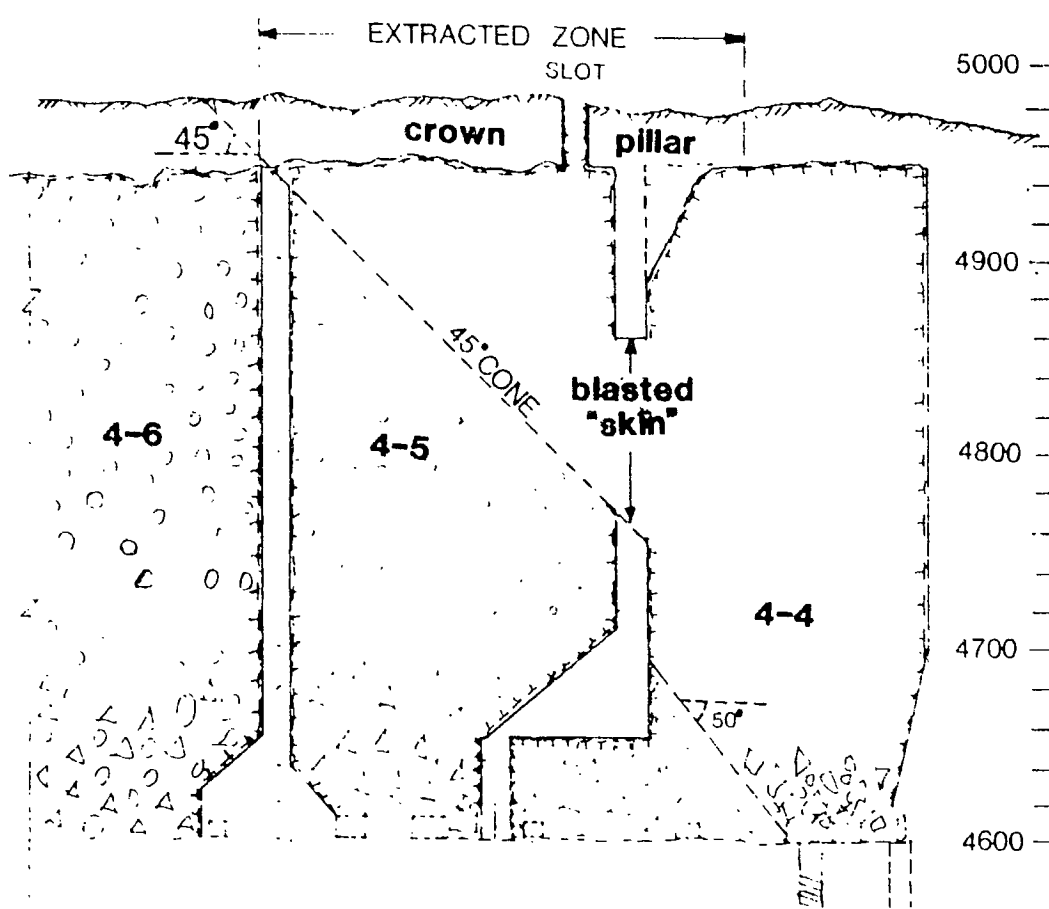
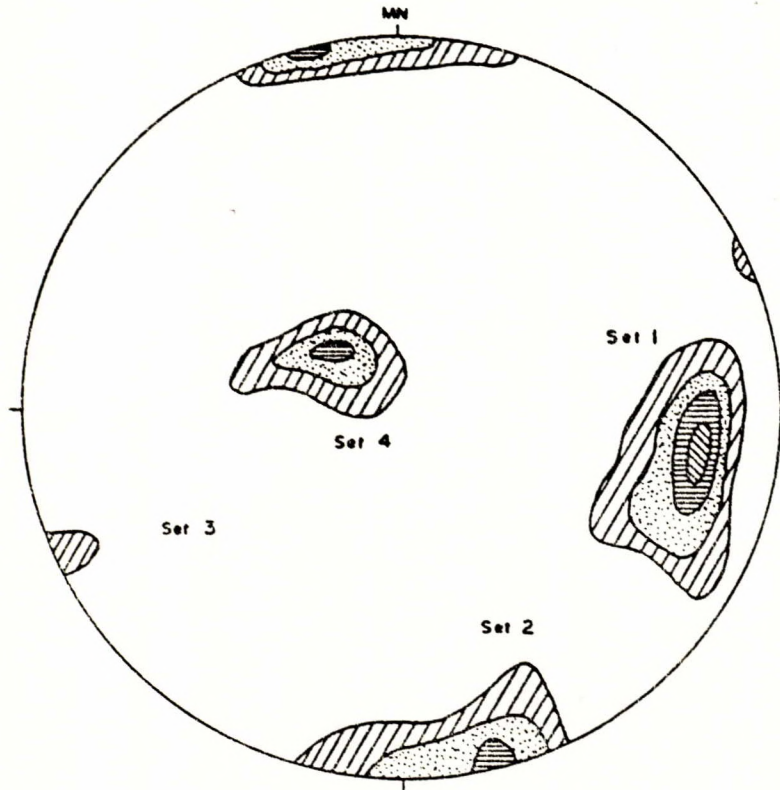


Figure 4. Recuperation des piliers de surface de la mine Fox. Sautage et chute sur remblai jusqu'au point de soutirage (8).



UPPER HEMISPHERE
POLAR EQUAL AREA
STEREO-NET
MN ~ MINE NORTH

LEGEND

	5%
	4%
	3%
	2%

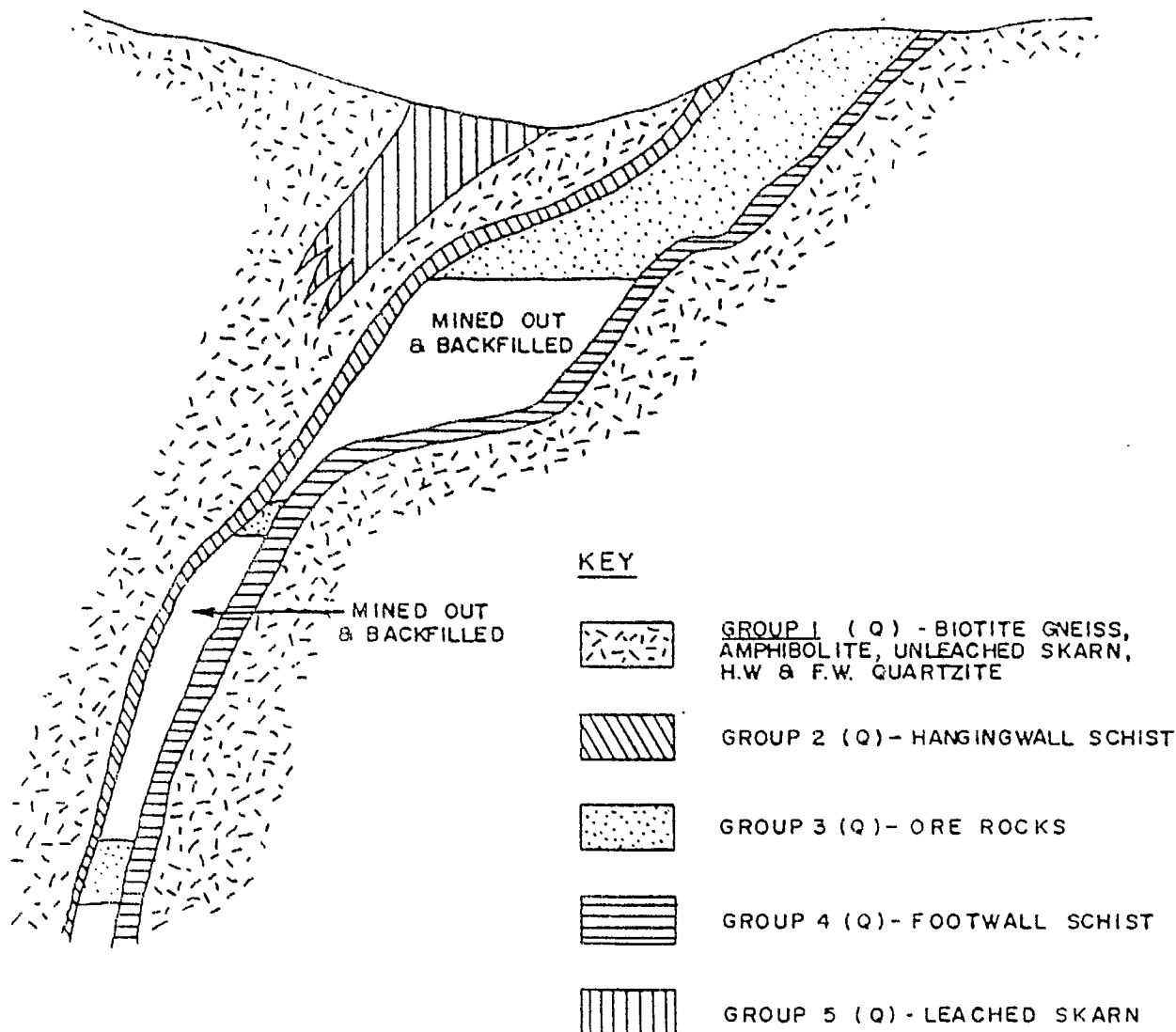
STEREOPLOT OF FABRIC MAPPED
ON 400 AND 1000 LEVELS

SUMMARY OF GEOMETRICAL PROPERTIES

JOINT SET	DIP DIRECTION (°)*		DIP ANGLE (°)		ESTIMATED MEAN LENGTH (m)	ESTIMATED MEAN SPACING (m)	
	MODE	RANGE	MODE	RANGE		QUARTZITE	SKARN
1	100	76-124	70	45-65	50	0.4	0.35
2	167/347	154-197 334-017	90	64-90	5	2.3	4.0
3	247/067	243-250 063-070	90	75-90	5	3.0	8.0
4	310	275-360	20	0-40	2	0.6	0.6

NOTE: DIP DIRECTION W.R.T. MINE NORTH

Figure 5. Relevés de des continuités: orientations, longueurs, espacements. Mine Thompson (3).



Class I ($6 < Q < 11$) - biotite gneiss, amphibolite, skarn (unleached, hangingwall quartzite and footwall quartzite).

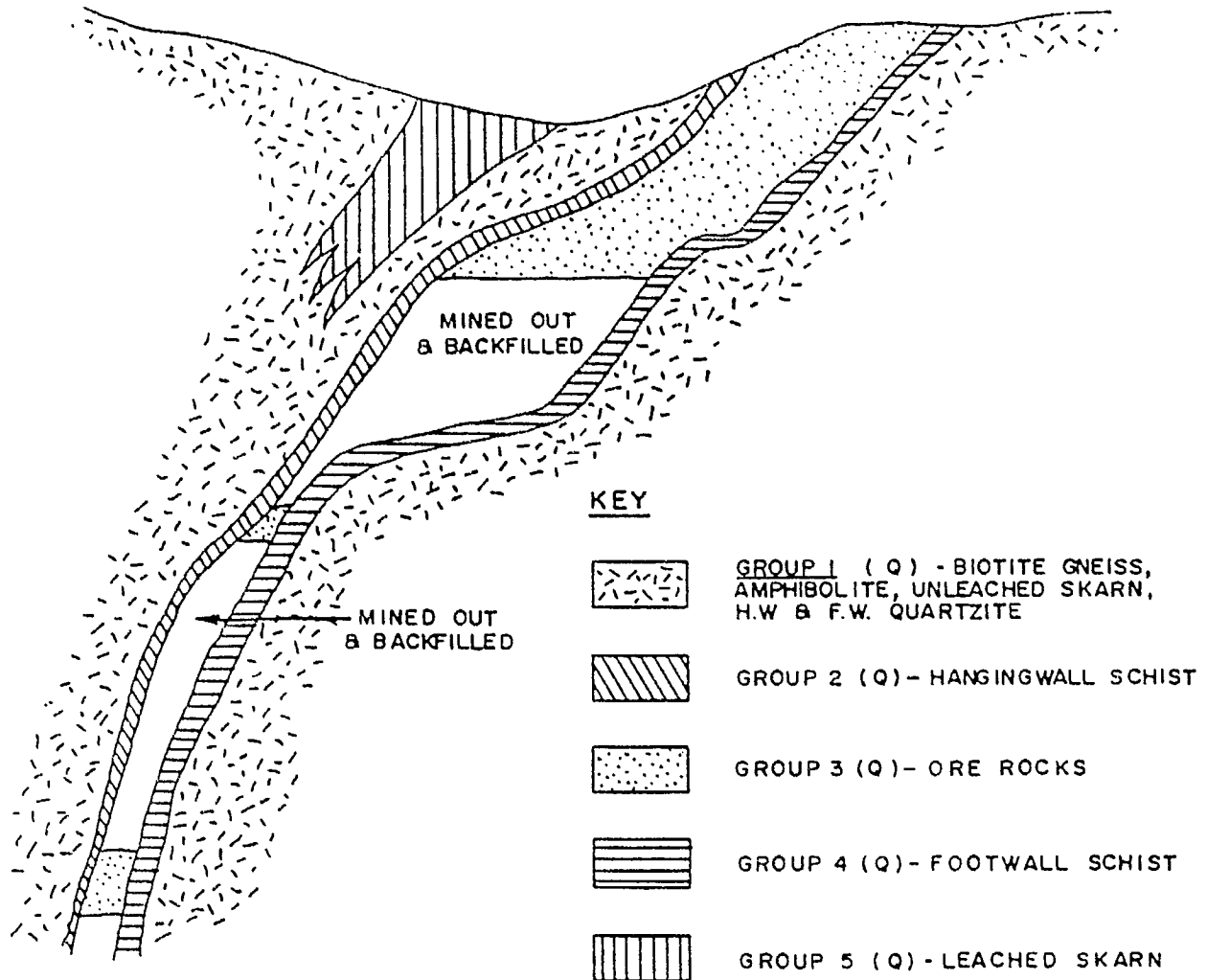
Class II ($3 < Q < 6$) - Hangingwall schist (anisotropic properties).

Class III ($3 < Q < 6$) - Ore Rocks.

Class IV ($Q = 1$) - Footwall schist (anisotropic properties) Range $Q = 0.1$ to 3 .

Class V ($Q = 0.03$) - Skarn (leached) Range $Q = 0.001$ to 0.1 .

Figure 6. Coupe transversale d'un gisement démontrant les secteurs de qualité de massif. Mine Thompson (3).



Group 1 - Biotite Gneiss, Amphibolite, Unleached Skarn, Hangingwall Quartzite and Footwall Quartzite with mean rock mass uniaxial compressive strength of 10 MPa (1450 psi); and deformation modulus of 25 GPa (3.6×10^6 psi).

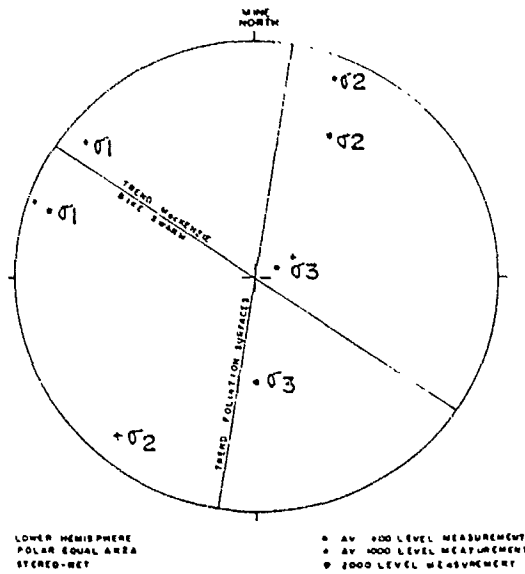
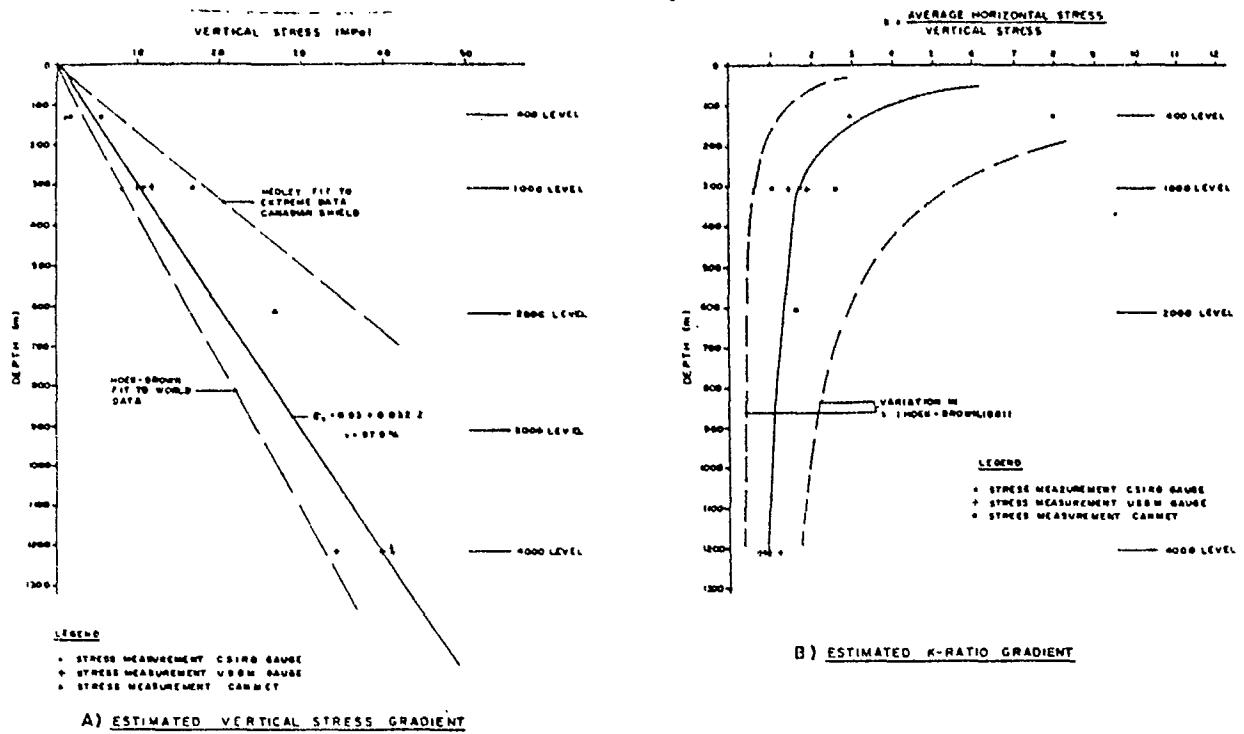
Group 2 - Hangingwall Schist with mean rock mass uniaxial compressive strength of 3.5 MPa (500 psi) and deformation modulus of 20 GPa (2.9×10^6 psi).

Group 3 - Ore Rocks with mean rock mass uniaxial compressive strength of 3 MPa (435 psi) and deformation modulus of 10 GPa (1.4×10^6 psi).

Group 4 - Footwall Schists with mean rock mass uniaxial compressive strength of 1.5 MPa (220 psi) and deformation modulus of 5 GPa (0.7×10^6 psi).

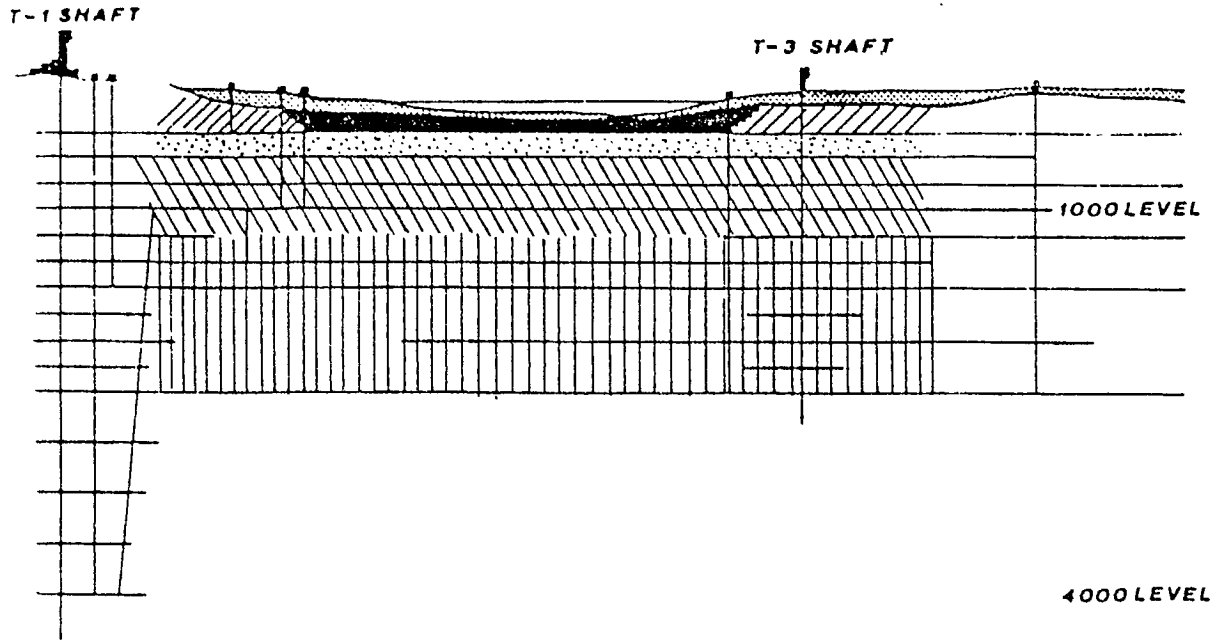
Group 5 - Leached Skarn with mean rock mass uniaxial compressive strength of 0.5 MPa (72 psi) and deformation modulus of 1 GPa (0.15×10^6 psi).

Figure 7. Coupe transversale d'un gisement démontrant les secteurs de résistance/déformation du roc. Mine Thompson (3).



C) VIRGIN STRESS ORIENTATION VS TREND
MAJOR GEOLOGICAL STRUCTURES

Figure 8. Mesures de contraintes naturelles. Variation en profondeur a); facteur horizontal/vertical en profondeur b); orientation des contraintes principales c); Mine Thompson (3).



**THOMPSON MINE
LONGITUDINAL SECTION**
Not To Scale


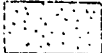


KEY	AV. σ_H / σ_V RATIO	DOMAIN NO.
	> 4	1
	2.5 - 4	2
	1.5 - 2.5	3
	1.0 - 1.5	4

Figure 9. Secteurs de facteurs contraintes horizontal/vertical.
Mine Thompson (3).

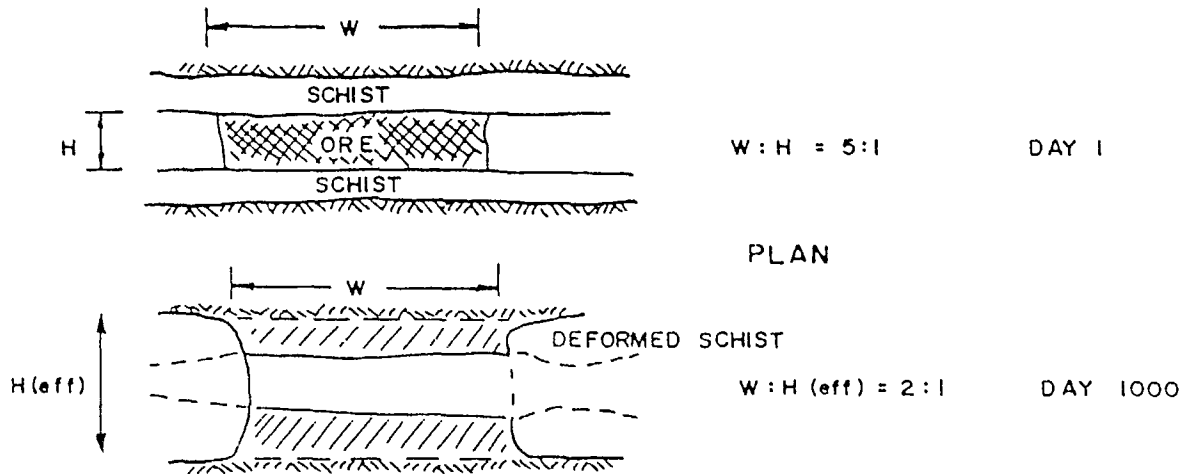


Figure 10. Déformation à long terme d'épontes immédiates molles entourées de roches dure du gisement et des épontes éloignées (3).

Maximum	Orientation (dip dir. /dip)
A	291°/30°
B	138°/90°
C	009°/83°

(Dip dir. given from true north)

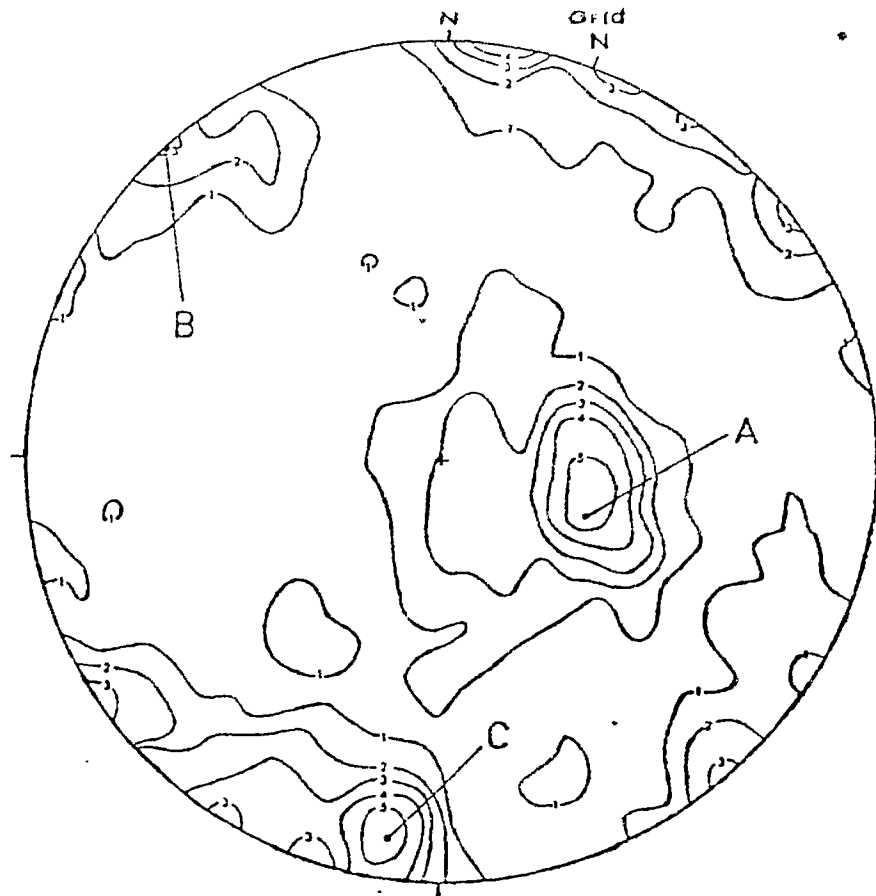
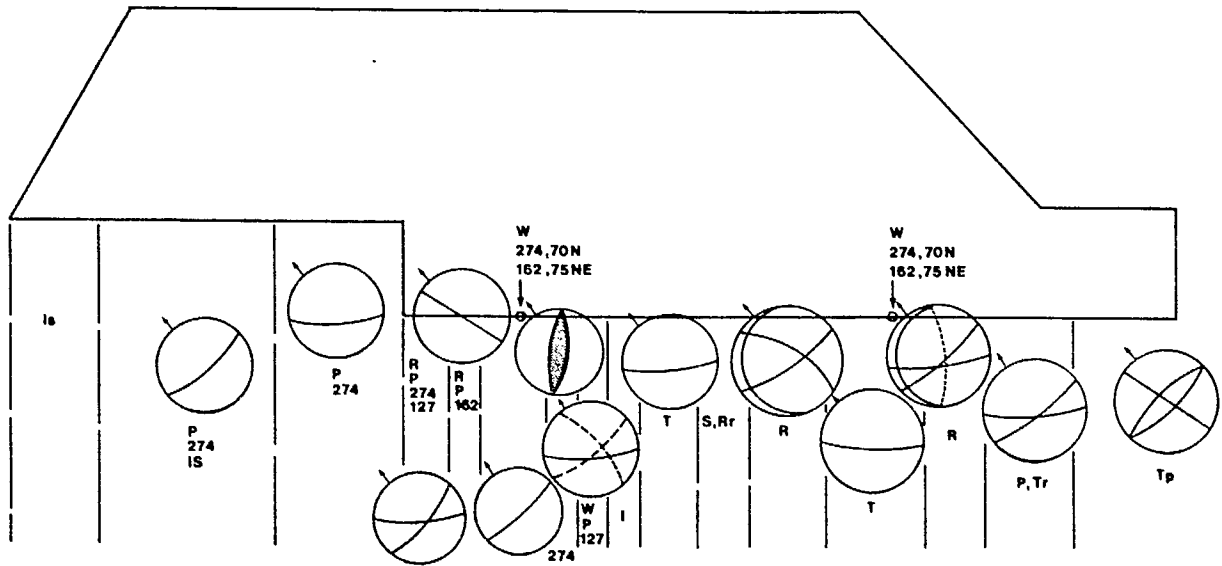


Figure 11. Stéréogramme de 406 discontinuités, mur sud-est, fosse Kidd Creek (6).



LEGEND

- T Toppling
- Tp Toppling Prisms
- W Wedge
- R Ravelling
- P Pervasive Joint
- Is Irregular Stable Face
- S Stable
- Nr Instabilities Rare

Figure 12. Genre d'instabilités, mur sud-ouest, carrière Francon, Montréal (10).

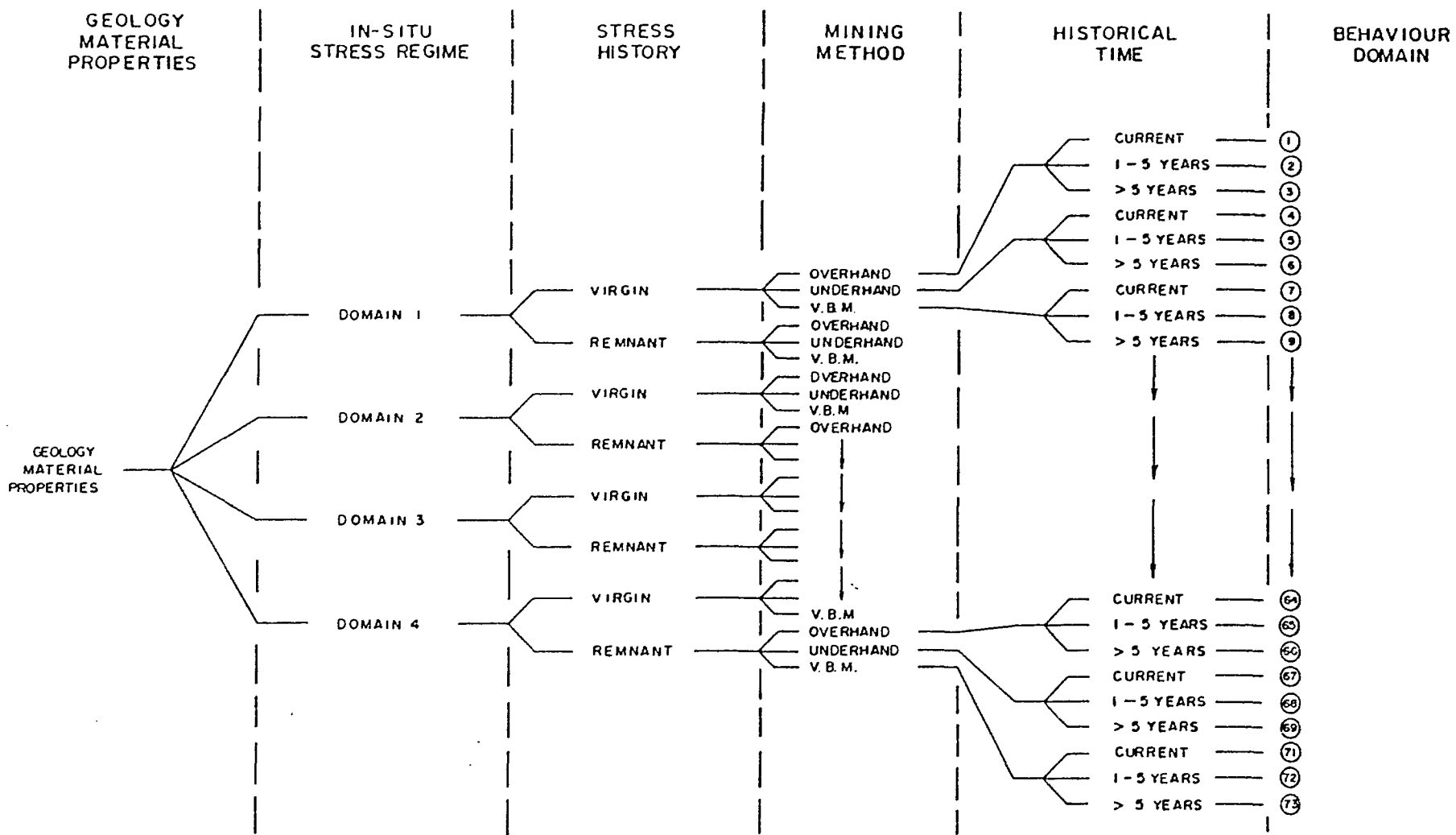
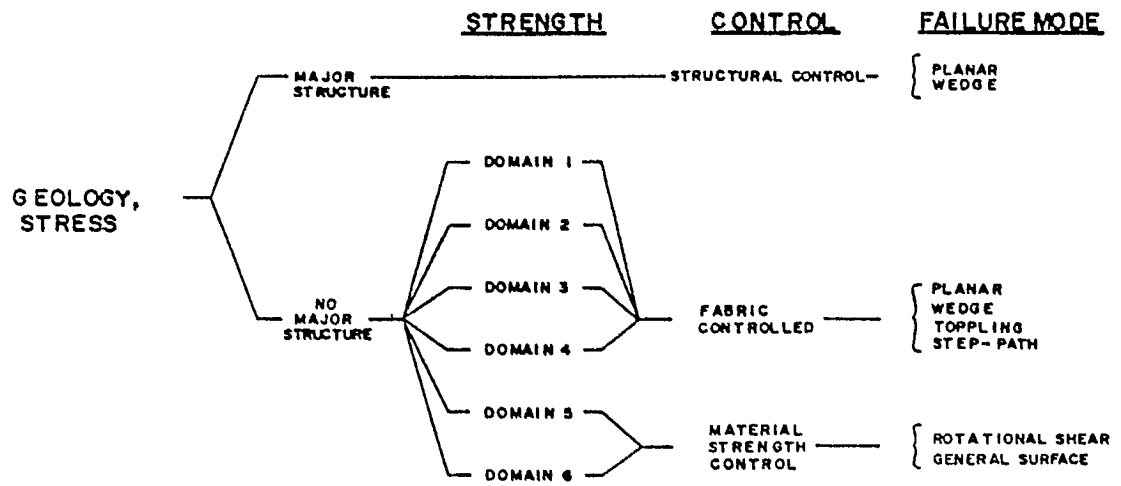


Figure 13. Division du massif Thompson en domaines de comportements géomécaniques (3). semblables, ouvertures souterraines



CLASSIFICATION FOR
GEOMECHANICAL MODEL - OPEN PIT

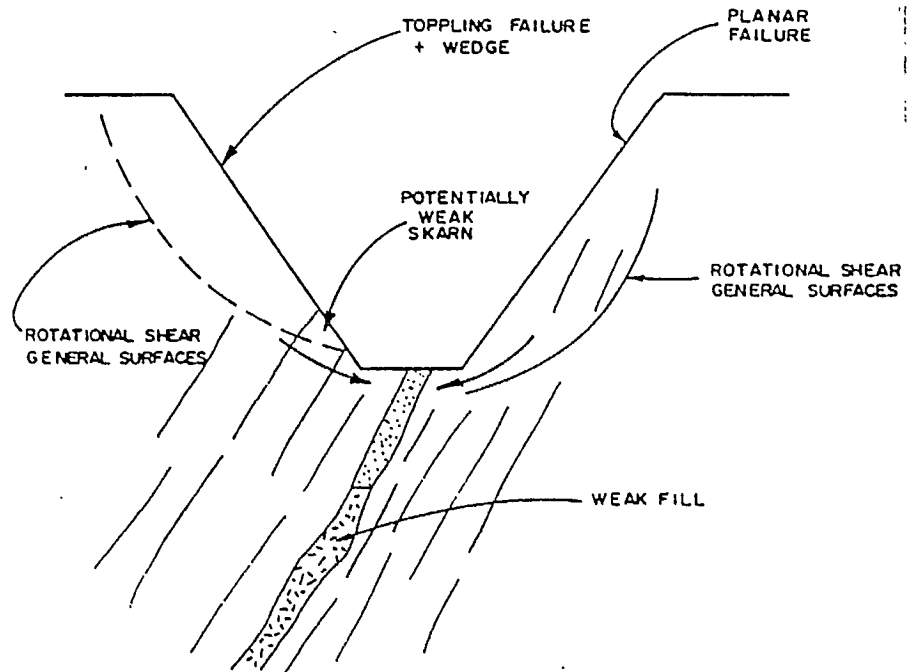


Figure 14. Division du massif Thompson en domaines de comportements géomecaniques semblables, fosse (3).

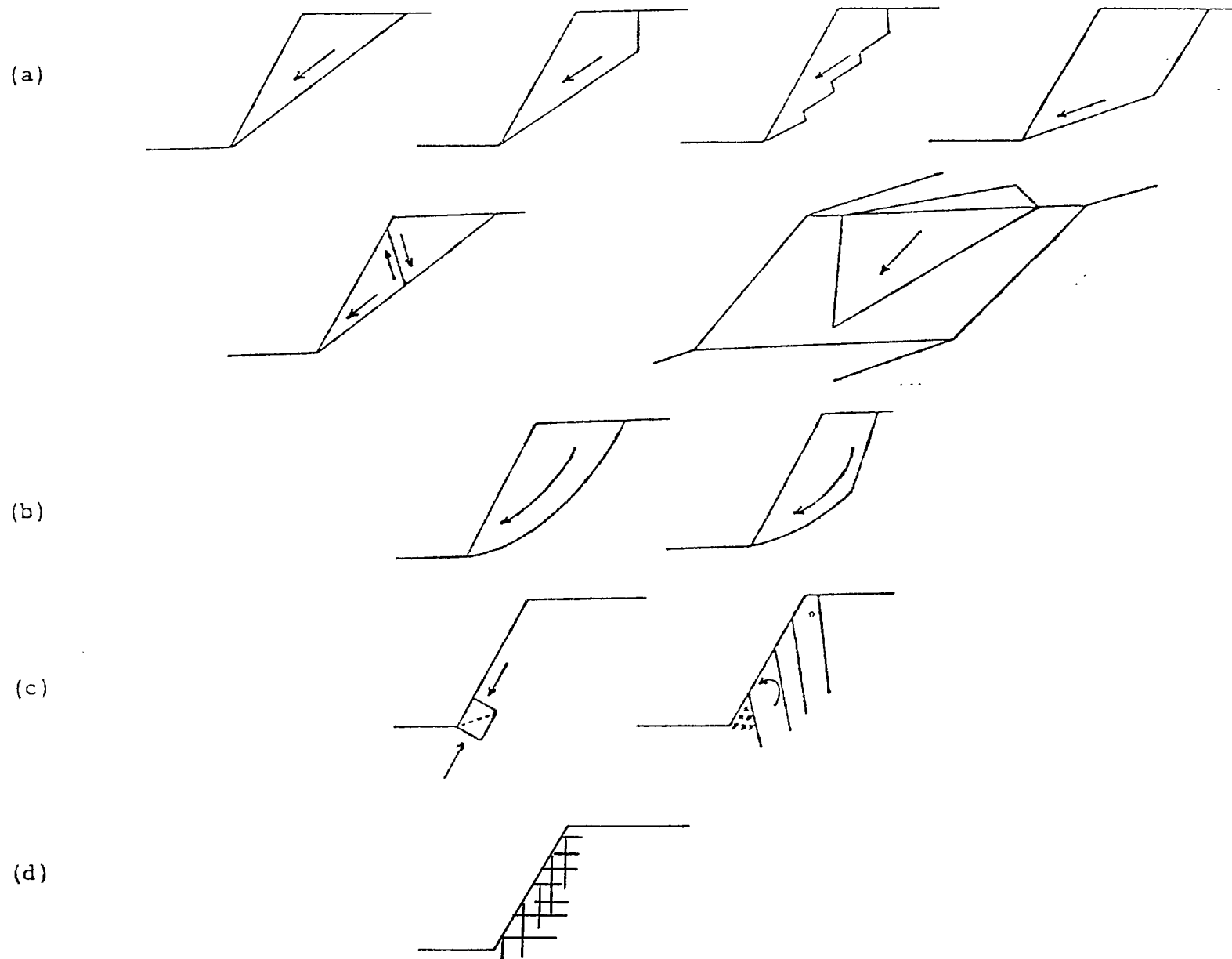


Figure 15. Modes d'instabilités possibles dans une fosse. Instabilités sur plan(s) de cisaillement(s) (a); cisaillement par rotation (b); dégradation du pied, renversement (c); dégradation complète (d) (6).

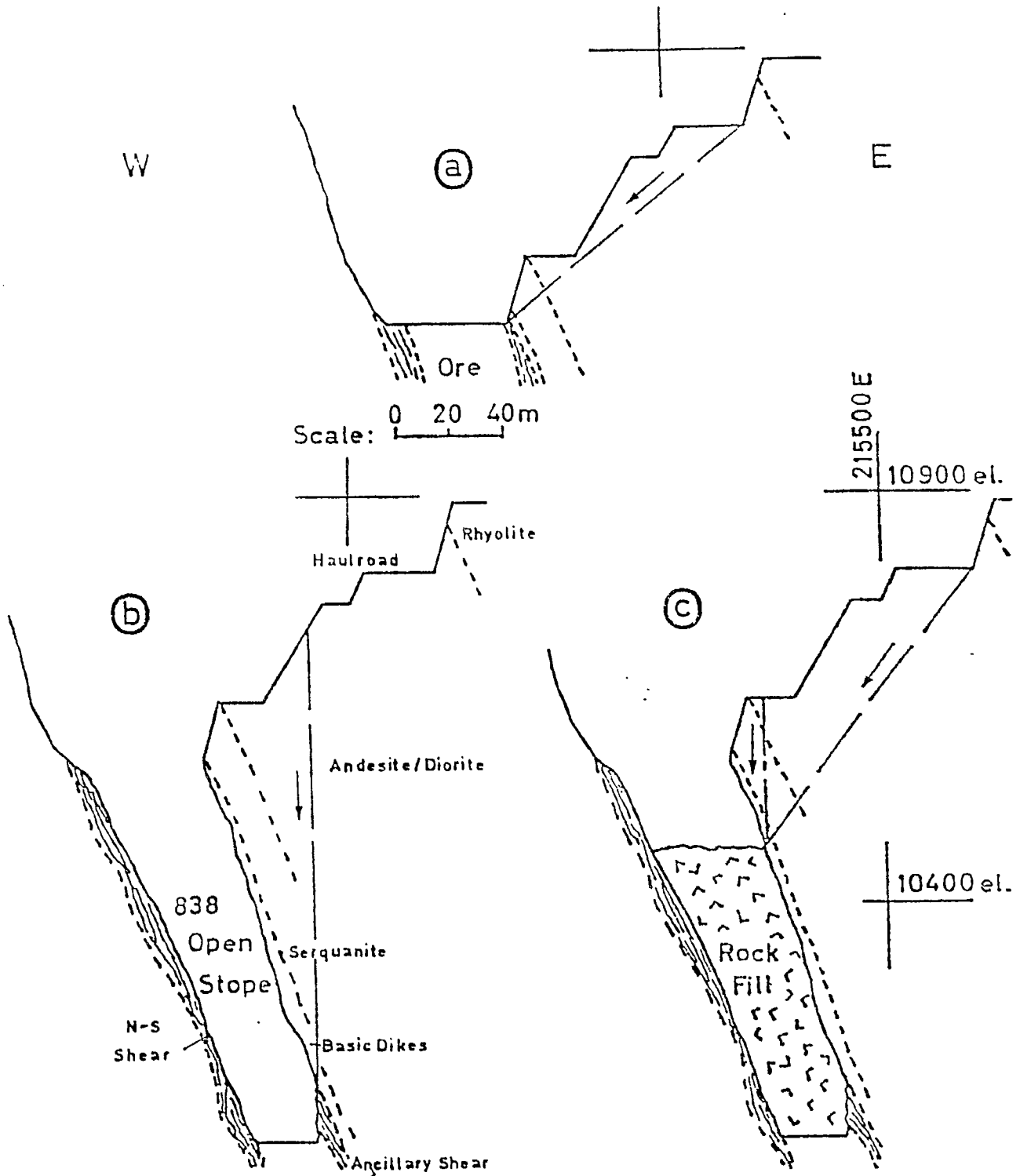


Figure 16. Plans de faiblesses envisagés pour la fosse, fosse & ouverture sans piliers de surface, éponte supérieure, mine Kidd Creek (6).

THOMPSON OPEN PIT - 27000 NORTH SECTION

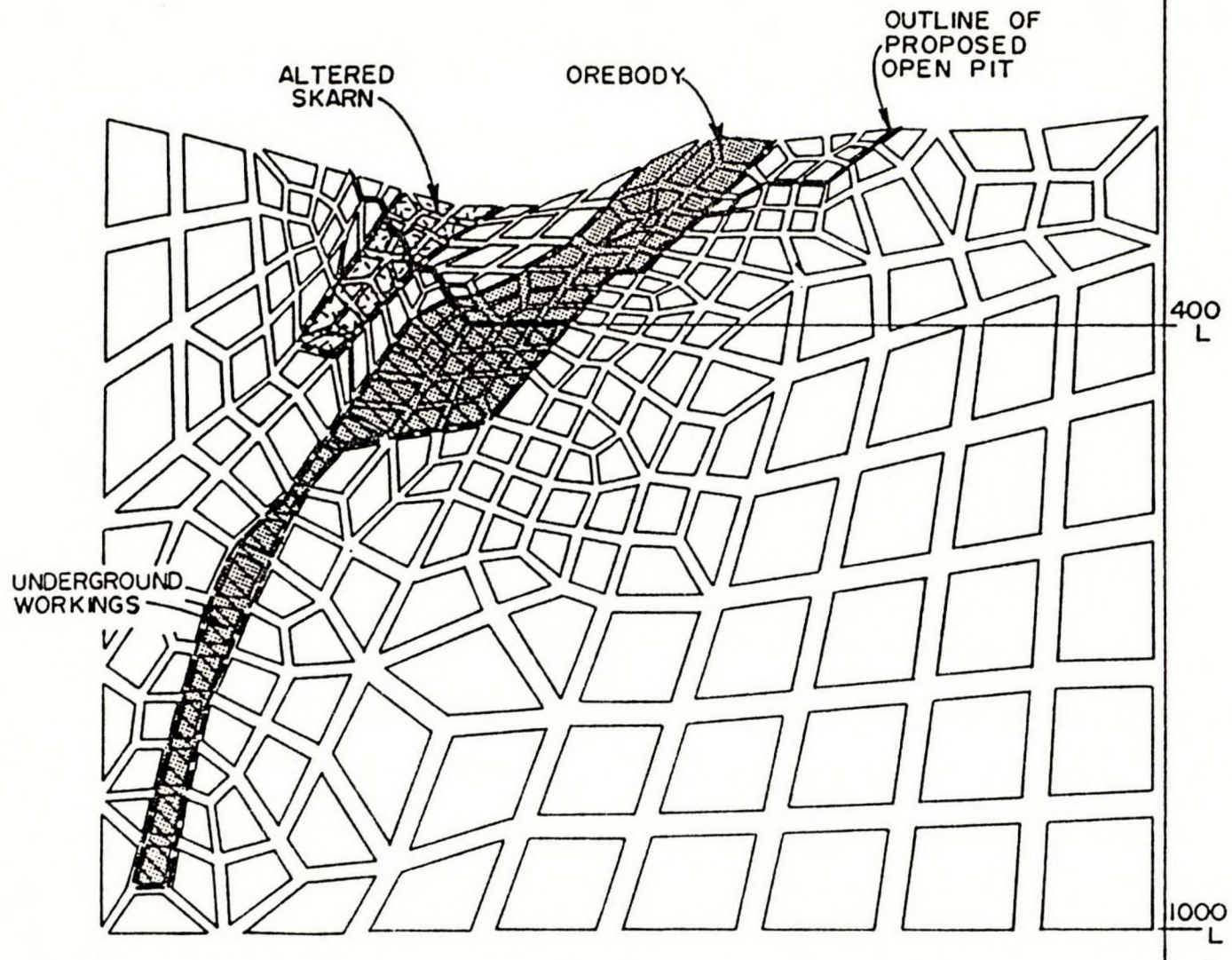


Figure 17. modélisation QUAD, en 2-D, éléments finis; fosse de la mine Thompson (3).

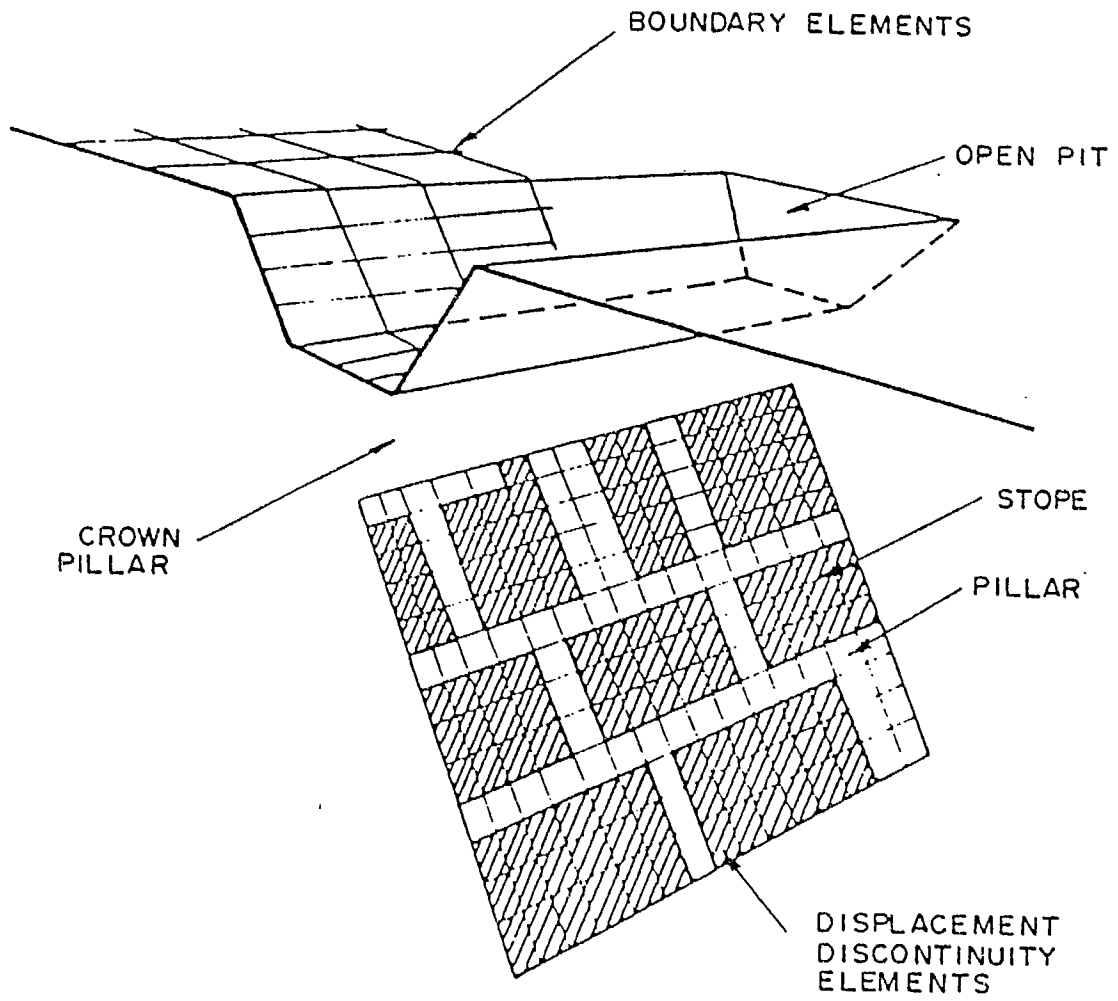


Figure 18. Modélisation MBEM en 3-D, éléments frontière; fosse et ouvertures souterraines, mine Thompson (3).

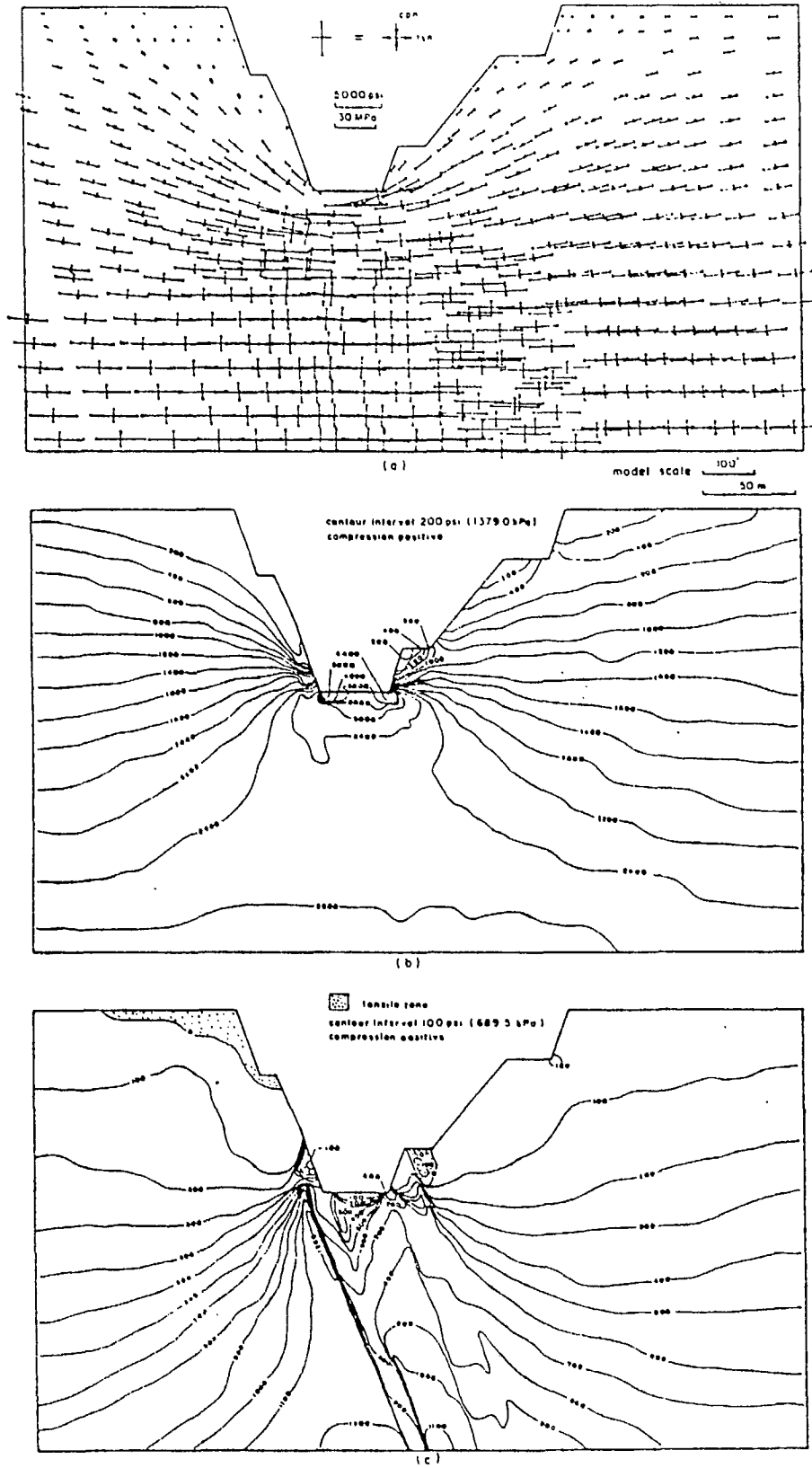


Figure 19(a). Distribution de contraintes, modélisation en 2-D, fosse de la mine Kidd Creek. Trajectoires a); contrainte majeure principale b); contrainte mineure principale c) (6).

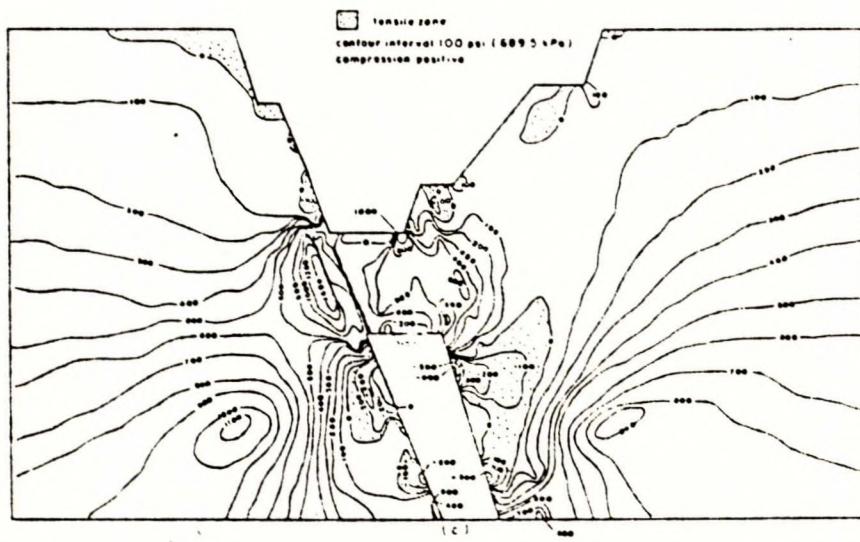
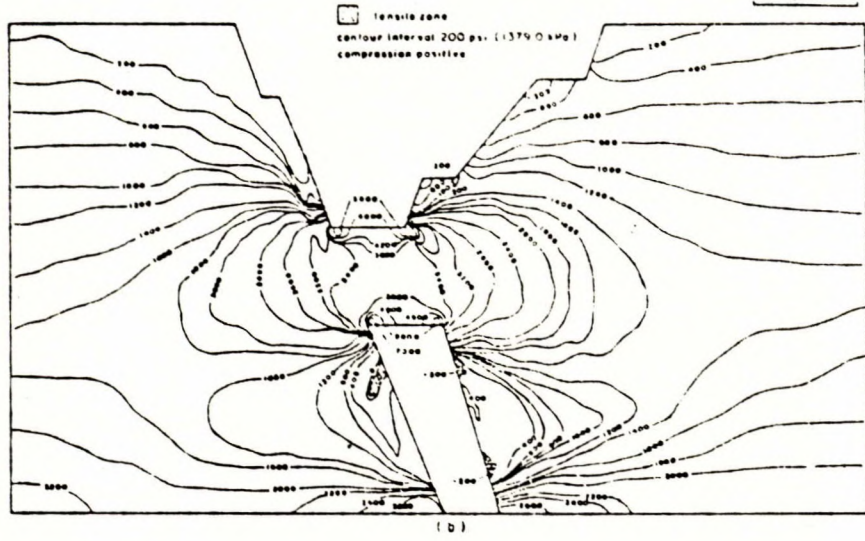
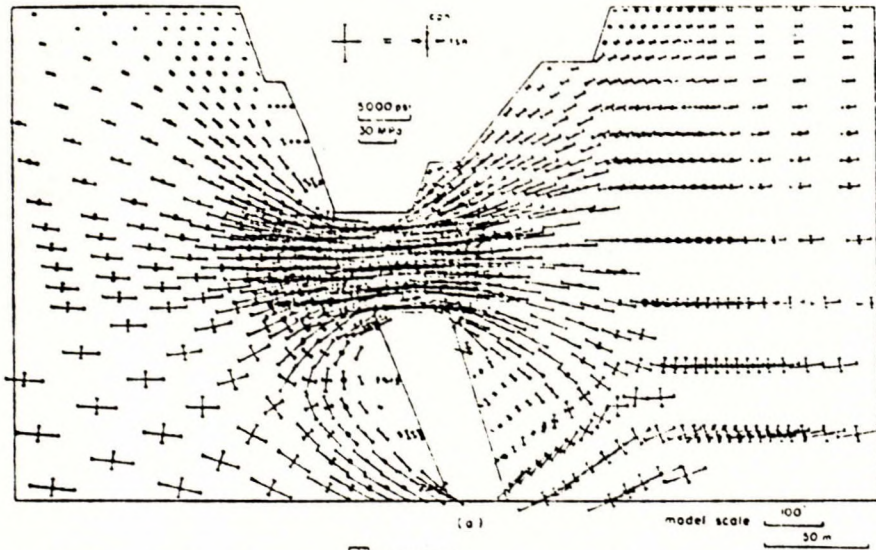


Figure 19 (b) Distribution de contraintes, modélisation en 2-D, fosse & pilier de surface & ouverture souterraine de la mine Kidd Creek. Trajectoires a); contrainte majeure principale b); contrainte mineure principale c) (6).

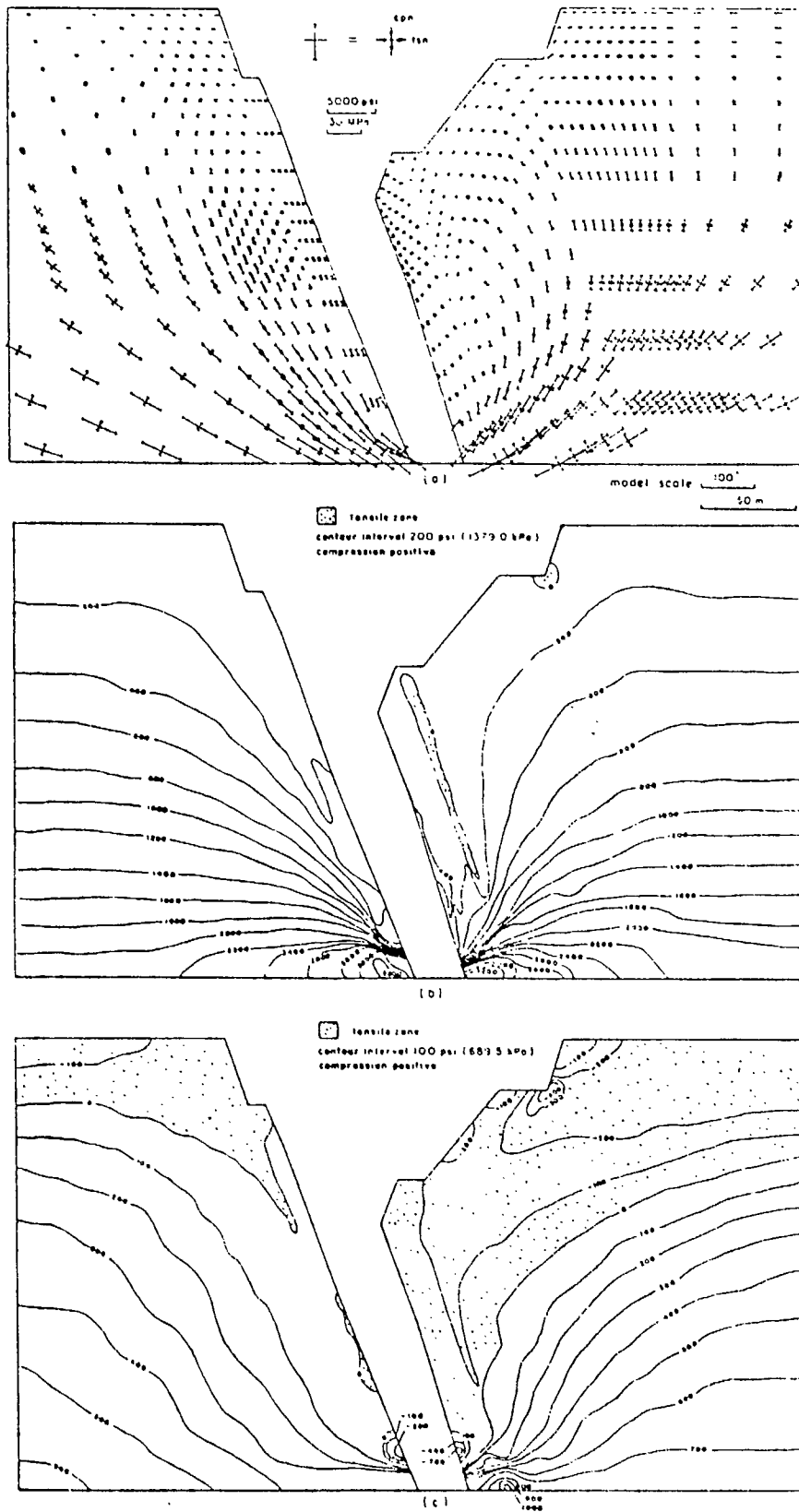


Figure 19 (c) Distribution de contraintes, modélisation en 2-D, fosse & ouverture souterraine de la mine Kidd Creek, pilier de surface enlevé. Trajectoires a); contrainte majeure principale b); contrainte mineure principale c) (6).

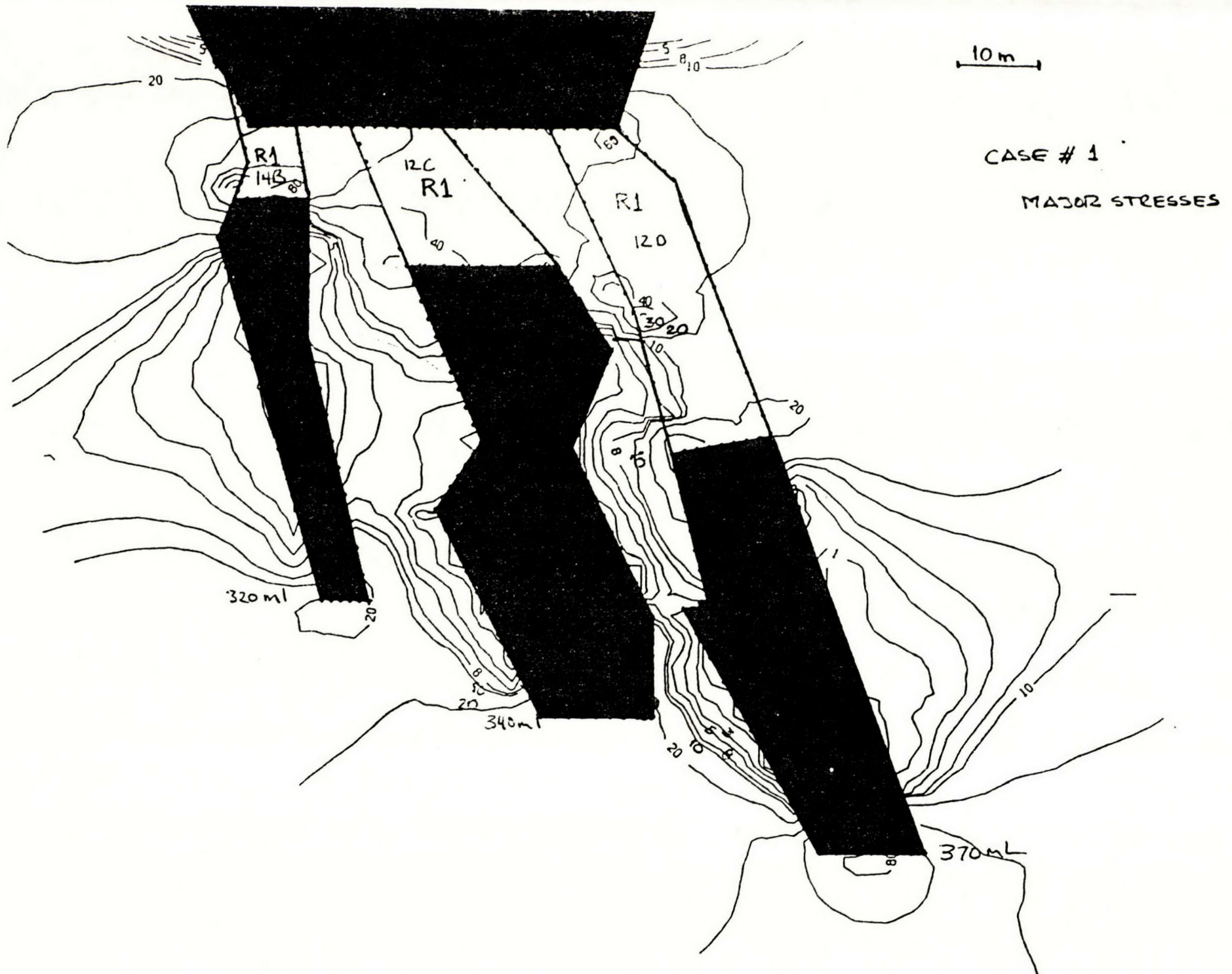


Figure 20(a) Application du programme BITEM à la mine Ruttan. Modélisation de la fosse & piliers de surface & ouvertures souterraines; contrainte majeure, contour de contraintes en MPa (7).

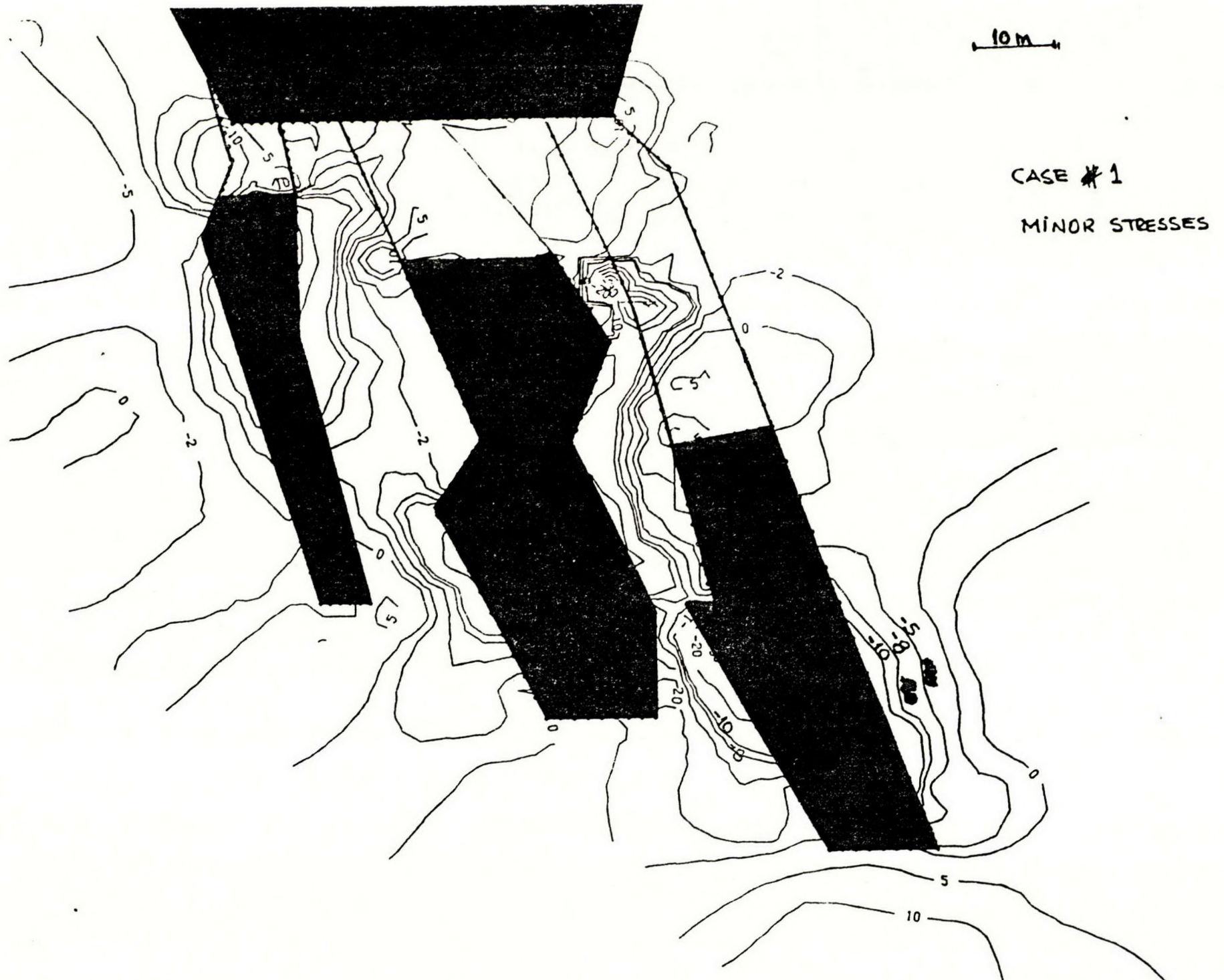


Figure 20(b) Application du programme BITEM à la mine Ruttan. Modélisation de la fosse & piliers de surface

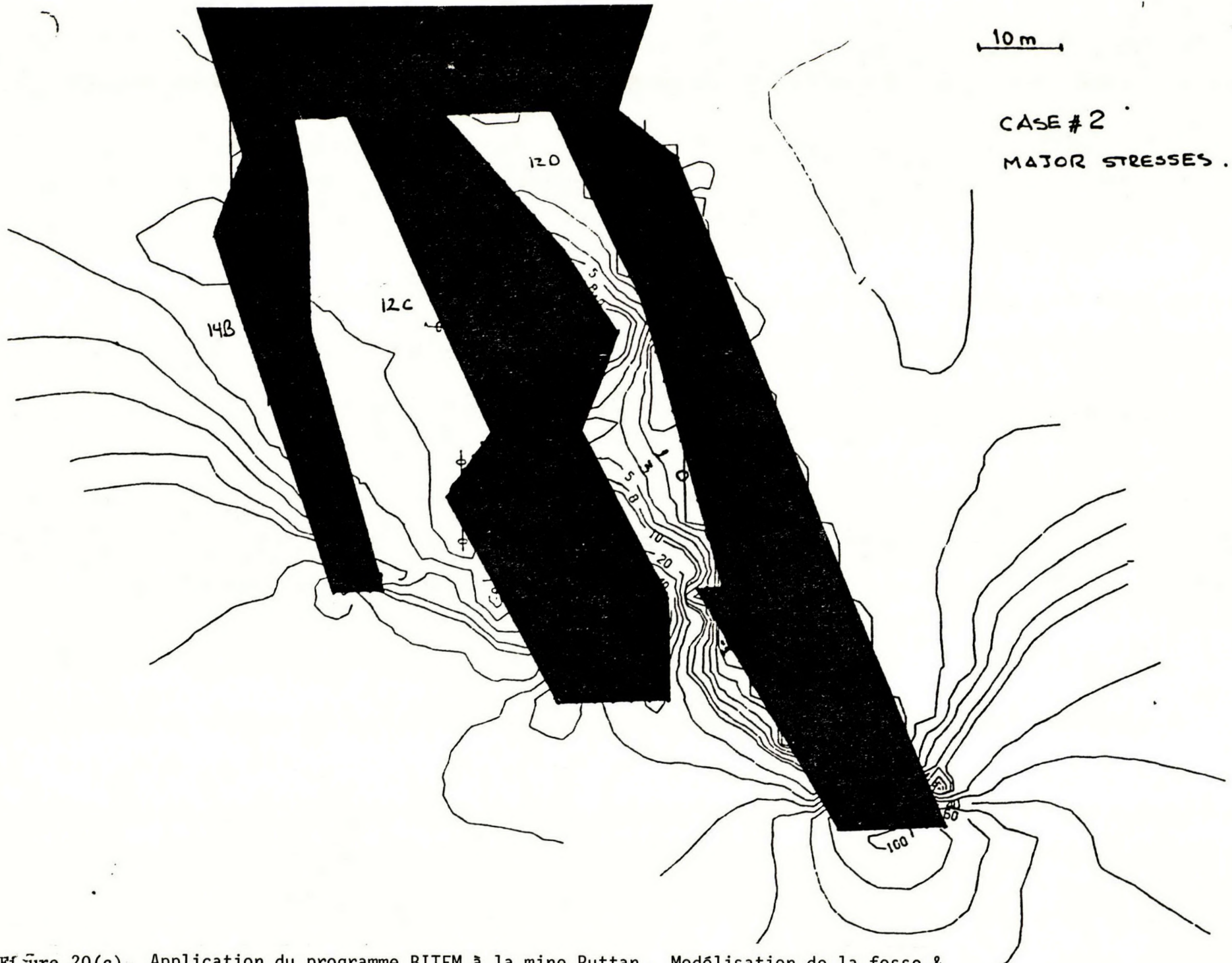


Figure 20(c). Application du programme BITEM à la mine Ruttan. Modélisation de la fosse & ouvertures souterraines, piliers de surface enlevés; contrainte majeure, contours en MPa (7)



Figure 20(d). Application du programme BITEM à la mine Ruttan. Modélisation de la fosse & ouvertures

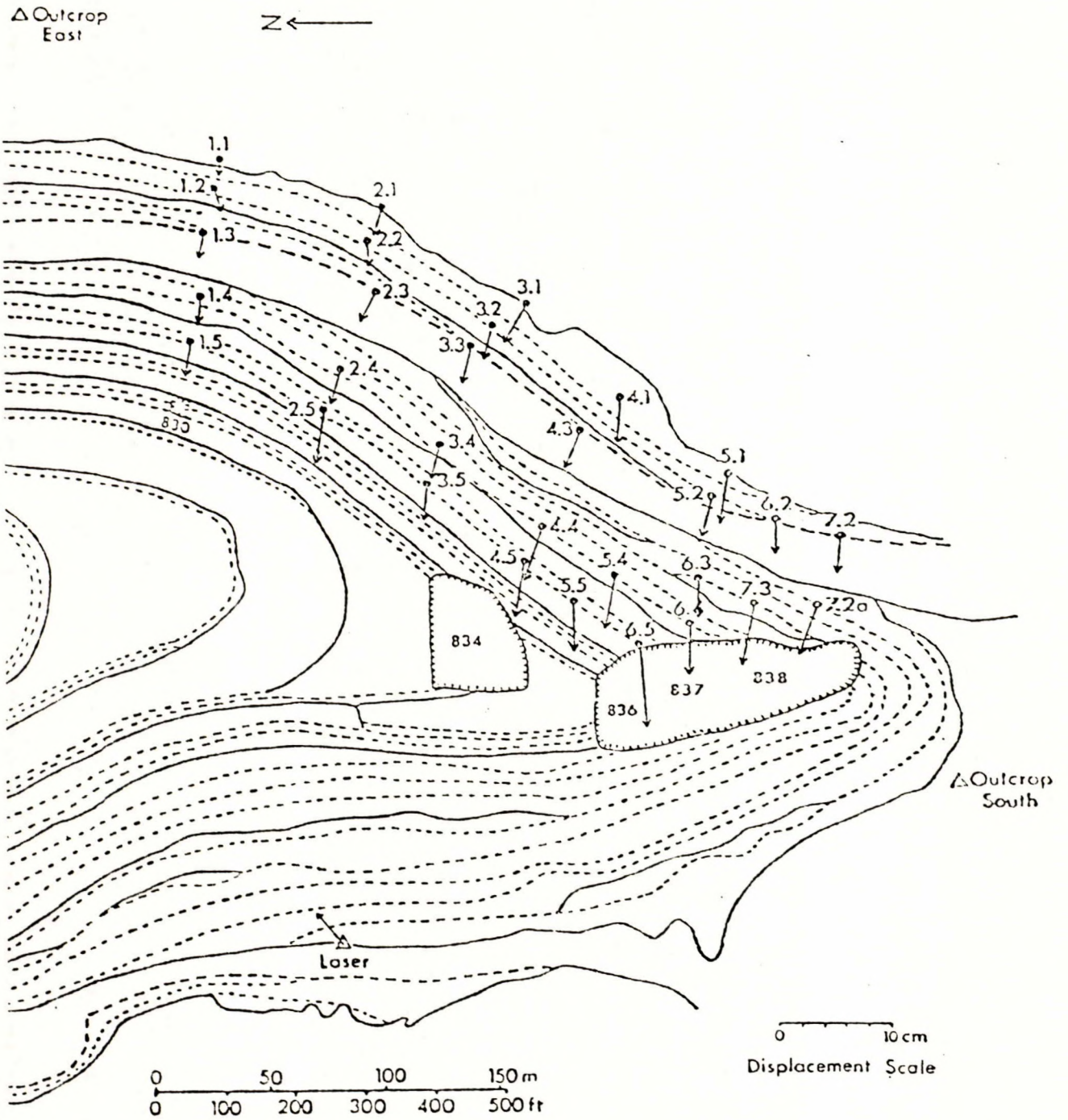


Figure 21. Déplacements vectoriels dans un plan horizontal, période 1975-1978, fosse Kidd Creek, avec un "Géodimètre" (6).

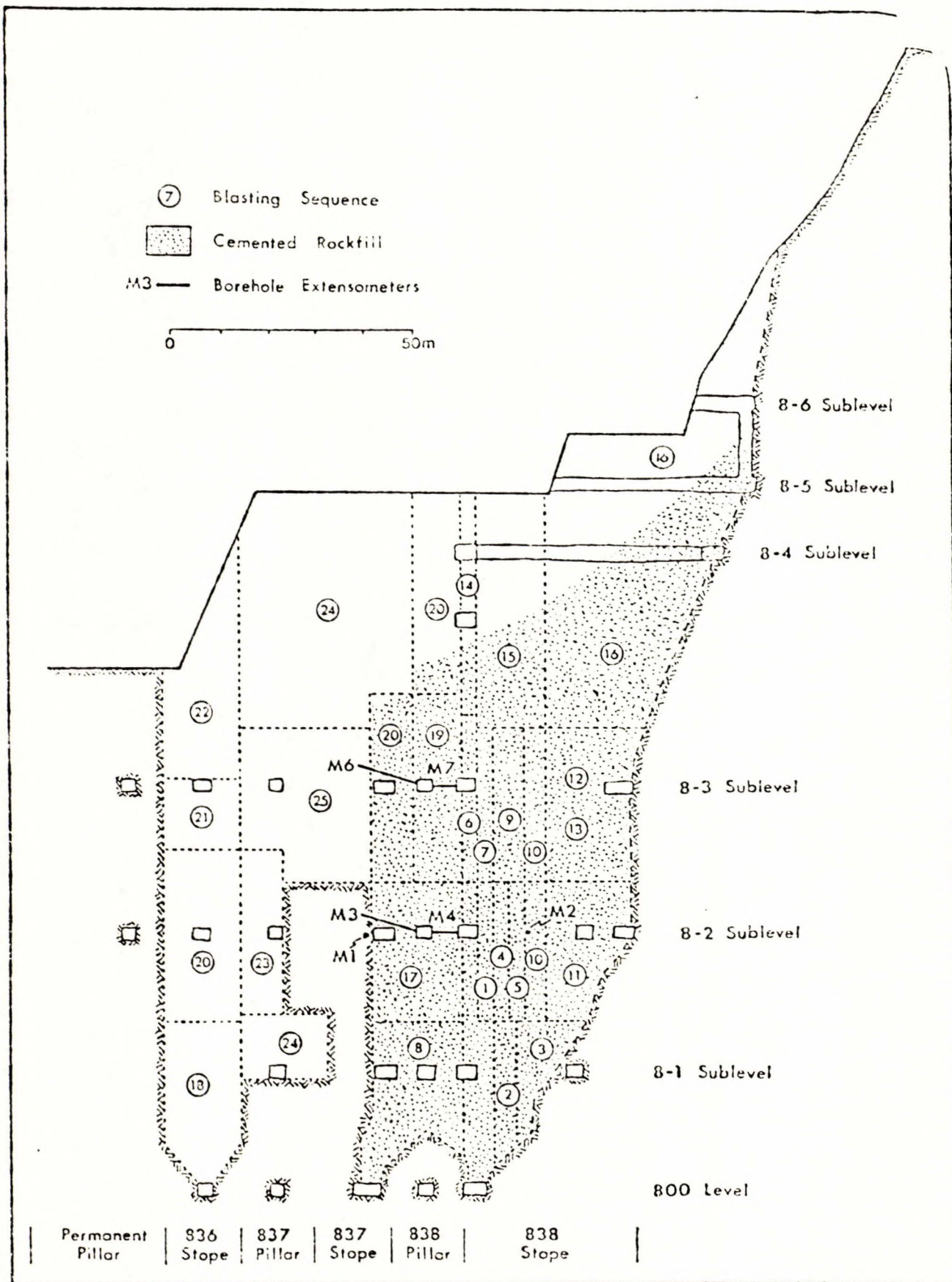


Figure 22. Section longitudinale démontrant la fosse et les ouvertures souterraines du côté sud du gisement de la mine Kidd Creek. La séquence de minage et la location d'extensomètres sont également indiquées (6).

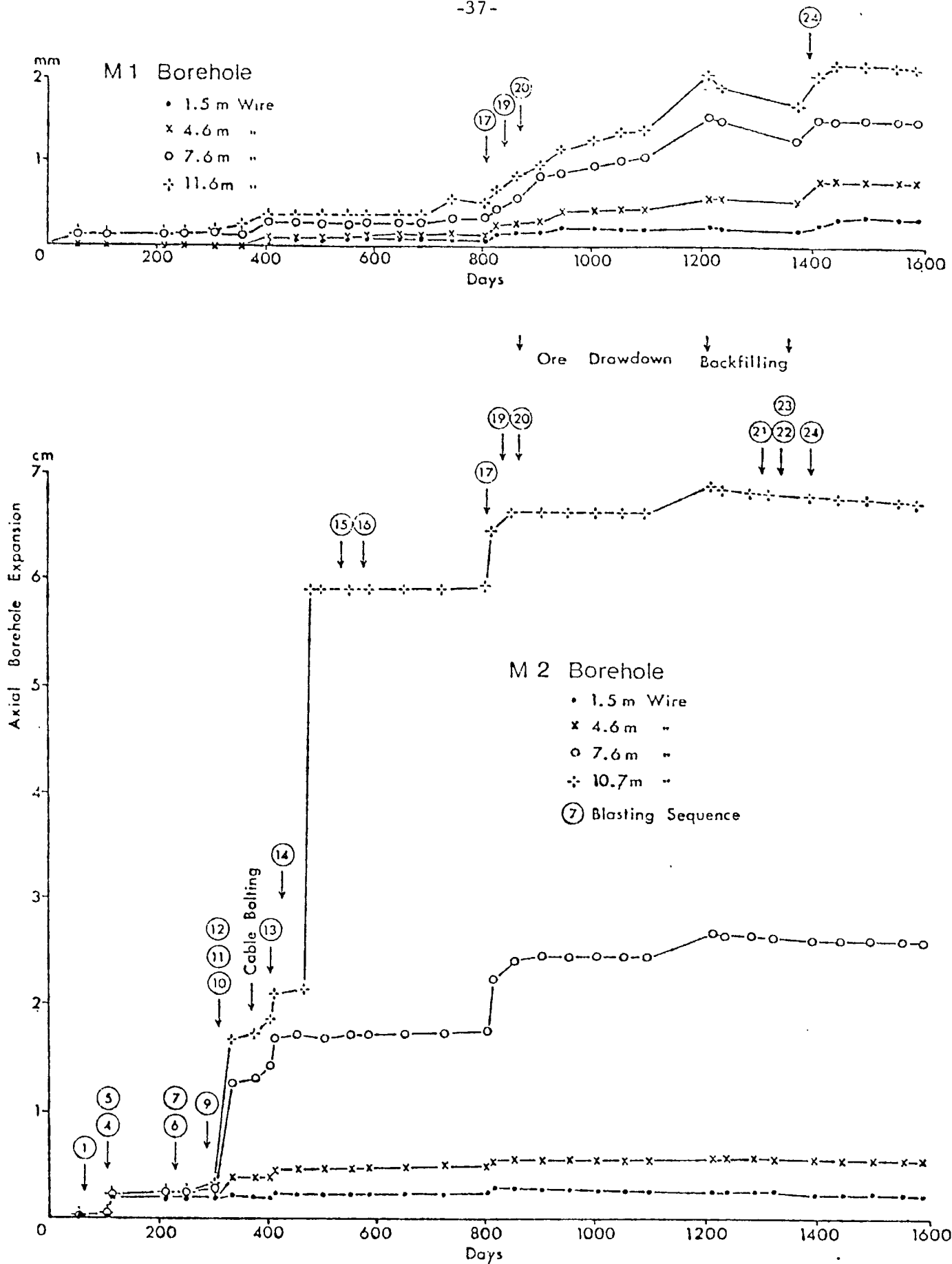


Figure 23. Déformation de l'éponte supérieure du gisement de la mine Kidd Creek évaluée à l'aide d'extensomètres (6). La séquence de minage est illustrée à la figure 22.

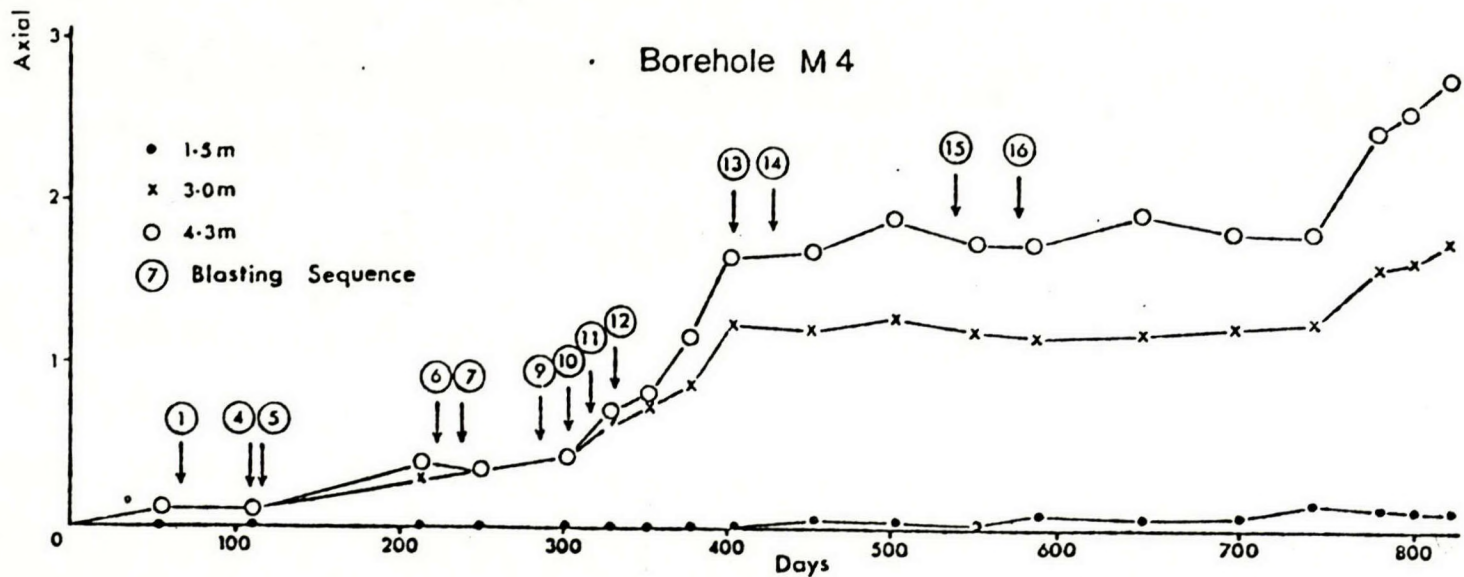
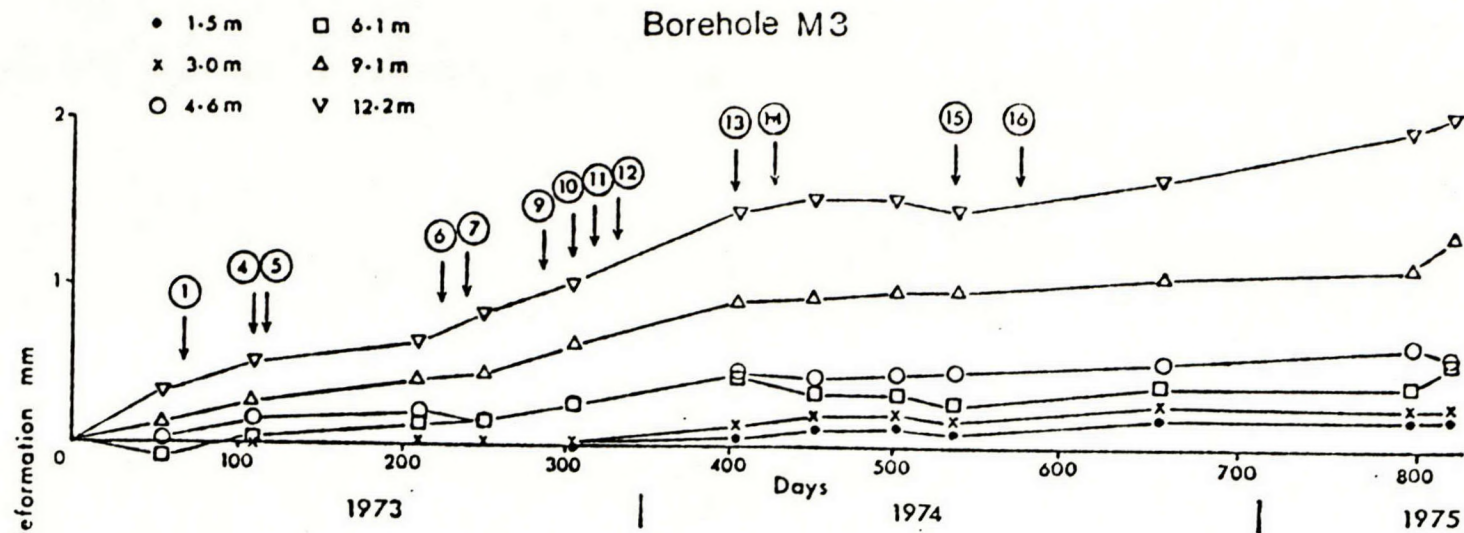


Figure 24. Déformation de piliers latéraux mesurée par extensomètre, mine Kidd Creek (6). La séquence de minage est illustrée à la figure 22.

